

UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

1933-1934. — N° 47

CONTRIBUTION

A

L'HYGIÈNE DE L'HABITATION

LA LUMIÈRE DU POINT DE VUE DE L'ÉCLAIRAGE

ÉCLAIRAGE NATUREL, ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL

Travail du Laboratoire d'Hygiène de la Faculté de Médecine de Bordeaux

Professeur E. Leuret.

Professeur agrégé Piéchaud, Chef de travaux.

THÈSE POUR LE DOCTORAT EN MÉDECINE

présentée et soutenue publiquement le Vendredi 15 Décembre 1933

PAR

Maurice-Prosper-Alfred CLÉNET

ÉLÈVE DU SERVICE DE SANTÉ DE LA MARINE

EXTERNE DES HÔPITAUX

Né à CUGAND (Vendée), le 23 mai 1910.

Examineurs de la Thèse	{	MM. LEURET, professeur.....	Président.
		MAURIAC, professeur.....	Juges.
		PIÉCHAUD, agrégé.....	
		FABRE, agrégé.....	

BORDEAUX

IMPRIMERIE-LIBRAIRIE DE L'UNIVERSITÉ

Y. CADORET, DELMAS, SUCESSEUR

6, Place Saint-Christoly

1933



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548415_0008

UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

1933-1934. — N° 47

CONTRIBUTION

A

L'HYGIÈNE DE L'HABITATION

LA LUMIÈRE DU POINT DE VUE DE L'ÉCLAIRAGE

ÉCLAIRAGE NATUREL, ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL

Travail du Laboratoire d'Hygiène de la Faculté de Médecine de Bordeaux

Professeur E. Leuret.

Professeur agrégé Piéchaud, Chef de travaux.

THÈSE POUR LE DOCTORAT EN MÉDECINE

présentée et soutenue publiquement le Vendredi 15 Décembre 1933

PAR

Maurice-Prosper-Alfred CLÉNET

ELÈVE DU SERVICE DE SANTÉ DE LA MARINE

EXTERNE DES HÔPITAUX

Né à CUGAND (Vendée), le 23 mai 1910.

Examineurs de la Thèse	{	MM. LEURET, professeur.....	Président.
		MAURIAC, professeur.....	Juges.
		PIÉCHAUD, agrégé.....	
		FABRE, agrégé.....	

BORDEAUX

IMPRIMERIE-LIBRAIRIE DE L'UNIVERSITÉ

Y. CADORET, DELMAS, SUCCESSEUR

6, Place Saint-Christoly

1933

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE BORDEAUX

M. SIGALAS..... Doyen.

PROFESSEURS HONORAIRES :

MM. POUSSEON, MOURE, W. DUBREUILH, RIVIÈRE, BARTHE,
DENIGÈS, AUCHÉ, SELIER, BEILLE, CASSAËT

PROFESSEURS

	MM.		MM.
Clinique médicale.....	MAURIAC.	Zoologie et parasitologie.....	MANDOUL.
id.....	DUPÉRIÉ.	Médecine expérimentale.....	N.
Clinique chirurgicale.....	CHAVANNAZ.	Clinique ophtalmologique.....	TEULIÈRES.
id.....	BÉGOIN.	Clinique chirurg. infantile et orthopédie..	ROCHER.
Pathologie et thérapeutiques générales...	CARLES.	Clinique gynécologique.....	GUYOT.
Clinique d'accouchements.....	ANDÉRODIAS.	Clinique méd. des maladies des enfants..	CRUCHET.
Anatomie pathol. et microscopie clinique.	SABRAZÈS.	Chimie biologique et médicale.....	DELAUNAY.
Anatomie.....	VILLEMIN.	Physique médicale et pharmaceutique....	SIGALAS.
Anatomie générale et histologie.....	G. DUBREUIL.	Médec. coloniale et clin. des mal. exotiques.	BONNIN.
Physiologie.....	PACHON.	Clinique des malad. cutanées et syphilitiques	PETGES.
Hygiène.....	LEURET.	Clinique des maladies des voies urinaires.	DUVERGEY.
Médecine légale et déontologie.....	LANDE.	Clinique des malad. nerveuses et mentales.	ABADIE.
Electroradiologie et clin. d'électricité médic.	RÉCHOU.	Clinique d'oto-rhino-laryngologie.....	PORTMANN.
Chimie.....	CHELLE.	Toxicologie et hygiène appliquée.....	LABAT.
Botanique et matière médicale.....	GOLSE.	Hydrologie thérapeutique et climatologie..	GREYX.
Pharmacie.....	DUPOUY.	Clinique dentaire.....	CAVALIÉ.

MM. MICHELEAU (Médecine générale). MURATET (Anatomie pathologique). LACOSTE (Histologie).

PERY (Obstétrique). PERRENS (Maladies mentales). PAPIN (Chirurgie générale).

R. SIGALAS (Parasitologie et sciences naturelles). JEANNENEY (Chirurgie générale).

AGRÉGÉS EN EXERCICE :

	MM.		MM.
Anatomie.....	DUBECQ.	Chirurgie générale.....	CHARRIER.
id.....	DUFOUR.	id.....	LOUBAT.
Physiologie.....	FABRE.	Ob-tétrique.....	RIVIÈRE.
Médecine générale.....	AUBERTIN.	Ophtalmologie.....	BEAUVIEUX.
id.....	DAMADE.	Physique médicale.....	N.
id.....	PIÉCHAUD.	Dermatologie et syphiligraphie.....	JOULIA.
id.....	DELMAS-MARSALET.	Oto-rhino-laryngologie.....	N.
id.....	N.	Chimie générale pharmaceut. et toxicologie.	VITTE.
id.....	N.		

COURS COMPLÉMENTAIRES :

	MM.		MM.
Médecine opératoire.....	PAPIN.	Puériculture.....	FAUGÈRE.
Physiologie.....	FABRE.	Démonstrations et préparations pharmac..	N.
Pathologie médicale.....	DELMAS-MARSALET.	Zoologie et parasitologie.....	R. SIGALAS.
Accouchements.....	RIVIÈRE.		
Ophtalmologie.....			MM. CABANNES (en congé).
Orthopédie chez l'adulte, pour les accidentés du travail, les mutilés de guerre et les infirmes.			N.
Cours complémentaire annexe. — Prothèse et rééducation professionnelle.....			GOURDON.
id.....	Clinique dentaire.....		DELGUEL.

Par délibération du 5 août 1879, la Faculté a arrêté que les opinions émises dans les Thèses qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle entend ne leur donner ni approbation ni improbation.



A MA MERE — A MON PERE

A MA GRAND-MERE

A MA SOEUR

MEIS ET AMICIS

A LA MEMOIRE DE MON ARRIERE GRAND-PERE

MAGLOIRE-ANACLET BONIN

Officier de santé (1844-1871)

A LA MEMOIRE DE MON GRAND-PERE

LE DOCTEUR ALFRED CLENET

(1874-1911)

A LA MEMOIRE DE MON GRAND-PERE

LE DOCTEUR PROSPER BARRE

(1852-1896)

A MES MAITRES DES HOPITAUX
ET DE LA FACULTE DE MEDECINE DE BORDEAUX

STAGE (1929-1930)

MONSIEUR LE PROFESSEUR CARLES
MONSIEUR LE PROFESSEUR CHARRIER

EXTERNAT (1930-1933)

MONSIEUR LE PROFESSEUR TEULIERES
MONSIEUR LE PROFESSEUR CHAVANNAZ
MONSIEUR LE PROFESSEUR PETGES
MONSIEUR LE PROFESSEUR LEURET
MONSIEUR LE PROFESSEUR CRUCHET
MONSIEUR LE DOCTEUR NANCEL-PENARD

A MES PROFESSEURS DE L'ECOLE ANNEXE DE ROCHEFORT
ET DE L'ECOLE DE SANTE NAVALE DE BORDEAUX

A MES CAMARADES DES CORPS DE SANTE DE LA MARINE
ET DES TROUPES COLONIALES

A MES CAMARADES DES HOPITAUX DE BORDEAUX

A MONSIEUR LE MÉDECIN GÉNÉRAL DARGEIN

*Directeur de l'Ecole principale du Service de Santé
de la Marine et des Troupes coloniales,
Commandeur de la Légion d'honneur,
Croix de guerre,
Officier de l'Instruction publique.*

A MONSIEUR LE MÉDECIN EN CHEF BRUN

*Sous-Directeur de l'Ecole principale du Service de Santé
de la Marine et des Troupes coloniales,
Officier de la Légion d'honneur,
Croix de guerre,
Officier de l'Instruction publique.*

A MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ PIECHAUD

*Médecin des Hôpitaux,
Licencié ès Lettres,
Chevalier de la Légion d'honneur,
Croix de guerre,
Médaille des épidémies.
Chevalier de Saint-Sava.*

A MON PRESIDENT DE THESE

MONSIEUR LE PROFESSEUR LEURET

*Professeur d'hygiène à la Faculté de Médecine de Bordeaux,
Médecin des Hôpitaux,
Médecin-chef du Sanatorium Xavier-Arnoz,
Chevalier de la Légion d'honneur,
Médaille d'argent de l'Assistance publique,
Médaille des épidémies,
Officier de l'Instruction publique,*

Nous avons eu l'honneur d'être son élève : qu'il nous soit permis de lui exprimer notre profonde reconnaissance pour son enseignement magistral et pour le grand honneur qu'il nous a fait en acceptant la présidence de cette thèse

Qu'il nous soit permis, au début de ce travail, de témoigner notre reconnaissance à M. le Professeur Petges et à M. le Professeur Beauvieux pour les conseils éclairés qu'ils ont bien voulu nous donner.

Nous tenons à remercier M. Hurson, directeur de la Société nantaise d'électricité, et M. Bentéjac, directeur de la Société Philips, à Bordeaux, qui a eu la grande amabilité de nous prêter un luxomètre Philips.

CONTRIBUTION

A

L'HYGIÈNE DE L'HABITATION

LA LUMIÈRE DU POINT DE VUE DE L'ÉCLAIRAGE

ÉCLAIRAGE NATUREL, ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL

INTRODUCTION

Dans ce travail, nous étudierons la lumière du point de vue de l'éclairage; les questions ayant trait à son action biologique ne seront pas développées, nous mentionnerons seulement dans un chapitre spécial ses principales actions sur notre organisme.

Le premier chapitre sera consacré à l'étude des radiations lumineuses; après un bref rappel historique, nous envisagerons leur nature, leur propagation, leur séparation et leur situation par rapport aux autres vibrations de l'univers.

Nous indiquerons ensuite les unités employées et leurs principales méthodes de mesure.

Dans le chapitre IV, seront exposées les principales qualités que doit avoir l'éclairage rationnel. Ensuite chaque source lumineuse sera étudiée par rapport aux données précédentes.

L'éclairage par la lumière solaire posera certains problèmes d'urbanisme et d'architecture.

Les qualités de l'éclairage artificiel dépendent beaucoup des types d'appareils employés, il sera nécessaire de passer en revue les formules présentées par les constructeurs pour résoudre le problème.

Avant de terminer, nous donnerons les particularités de certains éclairages spéciaux, en particulier les qualités de l'éclairage scolaire.

CHAPITRE PREMIER

LA LUMIERE

Newton considérait la lumière comme une projection de très petits corpuscules; ces projectiles étaient animés d'une vitesse considérable et se propageaient en ligne droite, ce fut la théorie de l'émission.

Huyghens et Fresnel, en étudiant la polarisation et les interférences, émirent la théorie des ondulations de l'éther; ils appliquèrent à la lumière les lois des phénomènes vibratoires.

Une vibration est caractérisée par trois éléments : la longueur d'onde, la période et la vitesse de propagation.

On appelle longueur d'onde, la distance entre les deux points les plus rapprochés dont les mouvements vibratoires sont dans la même phase.

La période est le temps nécessaire à parcourir cette distance; l'inverse de la période $\frac{1}{T}$ est la fréquence N ou nombre d'oscillations par seconde.

La vitesse de propagation, dans le vide, est constante pour les radiations de toute longueur d'onde; elle est environ de 299.280 kilomètres à la seconde.

Soit :

λ la longueur d'onde;

T la période;

V la vitesse de propagation.

Il existe, entre ces différentes grandeurs, la relation fondamentale :

$$\lambda = V \times T$$

D'où il suit :

$$\lambda = V \times \frac{1}{N} = \frac{V}{N}.$$

Les longueurs d'onde sont mesurables; pour les évaluer, on utilise les unités suivantes :

le micron μ , qui est le millième du millimètre;

l'angström « Å », qui est le dix-millième du micron.

Maxwell et Hertz, frappés de l'analogie qui existe entre les ondes électriques et les ondes lumineuses, les considérèrent comme des ondes électromagnétiques ne différant entre elles que par leur longueur d'onde.

Aujourd'hui, depuis Louis de Broglie et Einstein, on a tendance à admettre des ondes et des corpuscules, et sur cette hypothèse, on bâtit une nouvelle mécanique, la mécanique ondulatoire. Les phénomènes d'interférence ne sont pas inconciliables avec cette théorie, car Bloch a pu observer sur des faisceaux d'électrons, des interférences analogues à celles que l'on obtient avec les radiations lumineuses.

« La lumière serait engendrée par les recombinaisons consécutives aux perturbations qu'occasionne, dans les éléments constitutifs de l'atome, l'action d'une décharge électrique ou d'une élévation de température. » (De Valbreuze.)

D'après Planck, la radiation lumineuse serait produite d'une façon pulsatoire, chaque bond correspondant à une quantité d'énergie exactement déterminée, proportionnelle à la fréquence de la radiation.

Quantum : $\varepsilon = h \times v$.

h étant la constante universelle de Planck;

v étant la fréquence de la radiation.

On peut donc considérer la lumière comme un transport de projectiles énergétiques, les « quanta » ou « photons ».

Cette énergie rayonnée provient de l'énergie propre de la source lumineuse à laquelle il faut fournir une énergie équivalente, si l'on veut que le phénomène persiste.

Si l'énergie des radiations est tout entière empruntée à l'énergie thermique de la source, on dit que le rayonnement de celle-ci est un rayonnement thermique. C'est le cas de la plupart des corps solides, liquides et gazeux incandescents.

Quand une source emprunte directement l'énergie qu'elle rayonne à une énergie extérieure, électrique ou lumineuse par exemple, on dit que la source est lumineuse; c'est le cas des gaz illuminés par une décharge électrique et des corps phosphorescents.

Chaque radiation est caractérisée par sa fréquence; celle-ci reste invariable quels que soient les obstacles rencontrés; au contraire, la vitesse de propagation et, par suite, la longueur d'onde dépendent du milieu dans lequel a lieu la propagation. Dans l'air, la vitesse de propagation est la même pour toutes les radiations; la longueur d'onde est alors uniquement fonction de la fréquence, et l'on peut passer de l'une à l'autre à l'aide de la formule :

$$\lambda = \frac{V}{N}$$

V étant peu différent de 3×10^{10} .

En pratique, il est plus facile de mesurer la longueur d'onde; aussi définit-on chaque radiation par sa longueur d'onde dans l'air, à la température de 15 degrés, sous la pression de 76 centimètres de mercure.

Lorsqu'une radiation rencontre un obstacle qui la laisse passer, sa vitesse et sa longueur d'onde varient en sens inverse. Si la surface d'entrée de ce second milieu n'est pas perpendiculaire à la direction de propagation, la radiation est déviée : c'est le phénomène de la réfraction. A la sortie de ce milieu dans l'air, la vitesse et la longueur d'onde reprennent leurs valeurs primitives. Si la surface de sortie est parallèle à la surface d'entrée, la radiation reprendra une direction parallèle à sa direction primitive.

On appelle indice de réfraction, le rapport entre la vitesse primitive et la vitesse dans le second milieu. Cet indice n'est pas le même pour toutes les radiations, aussi pour chacune d'elles correspond une valeur particulière de la vitesse dans le second milieu; la réfraction est fonction de cette vitesse; ainsi, les radiations de courte longueur d'onde ont les vitesses les moins rapides et sont le plus réfractées.

Si la surface de sortie du milieu n'est pas parallèle à la surface d'entrée, la radiation ne reprend plus sa direction primitive et plus son indice de réfraction est élevé, plus elle est déviée. On dit que les radiations sont dispersées; l'éventail ainsi formé s'appelle le *spectre*. Si le second milieu est un prisme, le spectre est continu.

L'obstacle rencontré peut s'opposer au passage des vibrations lumineuses; on dit alors qu'il est opaque; deux cas se présentent; ou la radiation repart dans une autre direction (si cette direction est symétrique de la direction incidente, on dit qu'il y a réflexion, sinon il y a diffusion); ou la radiation est détruite, c'est l'absorption; son énergie passe sous une autre forme; en général, elle se transforme en chaleur : c'est ce qui arrive lorsque certaines radiations tombent sur une surface noire; certains corps absorbent le flux lumineux, puis émettent un rayonnement secondaire de même nature; si cette restitution est immédiate et si elle cesse après l'illumination du corps, on dit qu'il y a fluorescence; si ce rayonnement secondaire continue un certain temps, le corps est dit phosphorescent. La longueur d'onde des radiations nouvelles est plus grande que celles des radiations du rayonnement primaire (loi de Stokes).

En général, le rayonnement d'une source lumineuse comprend une quantité innombrable de radiations simples, ayant toutes des fréquences différentes. *Une partie infime de ce rayonnement est visible*; cependant, il existe des corps lumineux où toute l'énergie est rayonnée sous forme de radiations visibles.

Le rayonnement visible est complexe; si l'on fait tomber

un faisceau de lumière blanche sur un prisme ou un réseau on obtient un faisceau multicolore ou spectre lumineux; les différentes couleurs, ainsi séparées, ne peuvent plus, par le même procédé, être dissociées en d'autres couleurs inégalement réfrangibles. Chaque couleur est formée de radiations de même longueur d'onde. Voici celles des principales couleurs : brun, $0\mu,73$; rouge, $0,63$; orange, $0,59$; jaune, $0,55$; vert, $0,49$; bleu, $0,45$; violet, $0,38$.

En superposant les différentes radiations du spectre, on recompose la lumière blanche.

Dans le spectre d'une source, produit par un prisme de fluorine, plaçons une petite plaque métallique noircie. Cette plaque absorbe les radiations et s'échauffe; on mesure ainsi la puissance δP transportée par les radiations absorbées; leurs longueurs d'ondes sont comprises entre λ et $\lambda + \delta\lambda$, et le rapport $\frac{\delta P}{\delta \lambda}$ indique la puissance qui correspond au voisinage de la longueur d'onde λ , à une variation de longueur d'onde égale à l'unité. On mesure dans toutes les régions du spectre le rapport $\frac{\delta P}{\delta \lambda}$.

L'échauffement produit est mesuré par des méthodes thermo-électriques : on utilise le bolomètre; c'est une lamelle de platine dont on mesure les variations de résistance à l'aide d'un pont de Wheastone.

On peut également évaluer l'énergie du spectre en mesurant l'effet Hertz-Hallwachs; en effet, les radiations déchargent les corps chargés d'électricité négative; des cellules à bases de potassium ou de sodium et des électroscopes permettent de jauger l'effet photo-électrique.

L'étude du rayonnement thermique a montré que l'énergie rayonnée croît rapidement avec la température : celle-ci est surtout considérable pour des longueurs d'onde supérieures à 1μ , donc pour des radiations non visibles : cette partie du spectre, découverte en 1801 par William Herschel, est appelée infra-rouge; l'énergie est rayonnée sous forme de chaleur obscure.

Quand la température s'élève, le maximum d'énergie se déplace vers les courtes longueurs d'onde (loi de Wien). Température $\times$ longueur d'onde prédominante = Constante.

On a constaté que plus un corps est noir, c'est-à-dire lorsqu'il absorbe toutes les radiations sans les réfléchir ni les transmettre, plus grande est l'énergie qu'il rayonne quand il est incandescent.

On appelle *rendement photogénique* le rapport de l'énergie des radiations visibles à l'énergie rayonnée totale. Pour que ce rendement soit bon, il faut que la source lumineuse remplisse certaines conditions.

Il faut réaliser des sources avec des corps opaques pour les radiations visibles, et transparents pour l'infra-rouge, de telle sorte, qu'incandescents, ces corps émettent surtout des radiations visibles. La source doit être à la plus haute température.

Le rendement photogénique des sources à rayonnement thermique, en général, est faible; il vaut quelques centièmes pour les becs Auer, et un dixième pour l'arc électrique et les lampes à filaments métalliques.

Le rendement des sources lumineuses est beaucoup plus élevé.

Après l'infra-rouge, on trouve de nombreuses radiations de longueur d'onde de plus en plus grande, ce sont les radiations de Rubens ($300\ \mu$) de Nichols et Tear (6 millimètres), puis les ondes hertziennes dont les plus longues ont 40 kilomètres.

A l'autre extrémité du spectre visible, se trouvent les radiations ultra-violettes découvertes en 1802 par Wollaston. Elles ont une action chimique que l'on décèle à l'aide de la plaque photographique. Ce sont elles qui ont le plus grand effet photo-électrique et la plus grande action biologique.

Au delà, on trouve les rayons de Holwech, puis les rayons de Roentgen, les radiations « γ » du radium, et les radiations astrales de Mullikan.

Le faisceau des radiations que nous appelons lumière représente à peine un octave dans la gamme vibratoire

CHAPITRE II

QUALITES DES SOURCES LUMINEUSES

On appelle *flux lumineux* la quantité de lumière rayonnée par une source lumineuse dans un temps donné.

Le *débit* est la quantité de lumière rayonnée pendant l'unité de temps.

L'*intensité lumineuse* est la partie du flux qui agit dans une direction donnée.

Soit une source lumineuse punctiforme, qui donnerait dans toutes les directions autour d'elle une intensité lumineuse égale; supposons qu'elle soit placée au centre d'une sphère dont la paroi intérieure soit peinte en noir mat, de façon à absorber entièrement tous les rayons lumineux qui tombent sur elle et à n'en réfléchir aucun, le rayon de la sphère étant égal à 1 mètre.

Ceci posé, déterminons sur cette sphère une surface A B C D égale à 1 mètre carré et supposons ce panneau mobile. Prenons l'angle solide ayant pour sommet le centre de la sphère O et pour base la surface A B C D; il représente le flux lumineux émis par la source O, lorsque le panneau est enlevé.

En divisant le flux lumineux ainsi délimité par la surface A B C D on a la *densité de répartition* du flux sur cette surface.

Supposons que l'angle solide O A B C D se referme peu à peu sur lui-même, jusqu'à se trouver réduit à une simple droite; cette droite représente ce que l'on appelle un *rayon lumineux*. L'intensité lumineuse dans la direction du rayon

lumineux est la valeur limite de la densité du flux dans l'angle solide considéré. Quand cet angle tend vers 0, on peut écrire :

$$I = \frac{\Delta \Phi}{\Delta S}$$

Φ étant le flux lumineux O A B C D;

S étant la surface A B C D;

I étant l'intensité lumineuse.

L'unité d'intensité est la *bougie internationale* dont l'étalon est actuellement représenté par un certain nombre de lampes électriques à filament de carbone plan fonctionnant sous une tension définie. Elles sont conservées dans les trois laboratoires officiels d'Amérique, d'Angleterre et de France.

La bougie de paraffine normale, dont la flamme a 5 centimètres de hauteur et 2 centimètres de largeur, ne vaut que 0,817 bougie internationale.

Autrefois, on employait le Violle; c'est l'intensité lumineuse mesurée suivant la verticale, de 1 centimètre carré de la surface du platine fondant.

La lampe Carcel brûlant 42 grammes d'huile de colza épurée par heure, vaut 0,484 Violle. La bougie décimale est par définition le vingtième du Violle.

En Allemagne, on emploie la bougie Hefner; c'est l'intensité horizontale de la lampe à « amylacétat » construite par Hefner, dont la flamme a 4 centimètres de hauteur et 8 centimètres de largeur; son intensité est plus petite que celle de la bougie internationale.

Si, à l'intérieur de la sphère ayant 1 mètre de rayon, nous mettons une source lumineuse punctiforme qui donnerait dans toutes les directions autour d'elle une intensité constante égale à une bougie internationale, le flux lumineux qui passe par le panneau A B C D ayant 1 mètre carré de surface est le *lumen*. La surface totale de la sphère étant de 12 m² 57, le flux total est de 12 lumens 57.

L'intensité d'éclairement moyen est la quantité de flux

lumineux qui tombe par mètre carré sur la surface éclairée. L'éclairement représente l'effet utile de la lumière.

L'unité d'éclairement est le *lux*; c'est l'éclairement d'une surface de 1 mètre carré, placée normalement à l'axe de symétrie des rayons lumineux, recevant un flux lumineux de 1 lumen. La surface intérieure du panneau A B C D de la sphère précédente reçoit un éclairement de 1 lux. En Angleterre, on emploie les « foot candles » : 1 lux vaut 10,7 foot candles.

Cet éclairement ne varie pas avec la couleur de la surface.

L'éclairement varie comme l'inverse du carré de la distance. On le démontre facilement avec la sphère; par définition, l'éclairement est inversement proportionnel à la surface éclairée, le flux incident étant constant; or, la surface intérieure étant proportionnelle au carré du rayon (qui est la distance de la source à la surface), il résulte que l'éclairement est inversement proportionnel au carré des distances.

L'*éclat* ou *brillance* est l'intensité lumineuse qu'une source lumineuse ou qu'une surface éclairée envoie dans une direction donnée par centimètre carré de surface apparente dans cette direction.

L'aire apparente S' est la projection de l'aire réelle S sur le plan perpendiculaire à la direction donnée.

$S' = S \cos \alpha$, α étant l'angle dièdre que fait le plan de l'aire avec le plan perpendiculaire à la direction.

L'unité d'éclat est la bougie internationale par centimètre carré de surface apparente dans la direction donnée.

L'éclat est fonction de l'intensité d'éclairement, de la nature et de la couleur de la surface éclairée, autrement dit de son pouvoir réflecteur.

La brillance d'un corps varie de place en place, parce que le pouvoir réflecteur varie et les contrastes qui en résultent, permettent à l'œil de reconnaître la forme du corps ou de l'objet.

Un objet noir est invisible et n'est vu que par contraste.

CHAPITRE III

MESURE DES INTENSITES LUMINEUSES

La photométrie a pour objet la comparaison des différentes sources lumineuses; la principale méthode de mesure est basée sur l'égalisation des éclairements de deux surfaces voisines.

On dit que deux sources ont même intensité si elles produisent le même éclairement sur deux écrans identiques placés à la même distance, et deux écrans ont même éclairement si l'œil en juge ainsi.

Les premiers photomètres étaient construits de telle façon que l'on pouvait déplacer les sources lumineuses. Lorsque les éclairements produits par les deux sources étaient identiques, on mesurait celles-ci à l'écran éclairé.

Les distances étant connues, on calculait les intensités en appliquant cette loi de l'éclairement : l'éclairement varie comme l'inverse du carré de la distance de la source à l'écran.

Soit :

I_1 et I_2 les intensités des deux sources;

e_1 et e_2 les éclairements correspondants;

d_1 et d_2 les distances respectives des deux sources lumineuses à l'écran.

On peut écrire :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{e_1}{e_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2},$$

d'où il suit :

$$I_1 = I_2 \frac{d_2^2}{d_1^2}.$$

La source I_2 est une lampe étalon, une donnée connue; l'équation se ramène donc à une équation à une seule inconnue.

Les premiers photomètres utilisaient soit l'égalité d'ombre portée, comme le photomètre à baguette de Rumford, soit l'éclairement direct, comme le photomètre de Foucault.

Le photomètre de Bunsen est basé sur le phénomène de la tache d'huile. La partie huilée de la feuille de papier a l'éclairement de la face postérieure : si celle-ci est plus éclairée, la tache paraît claire; si, au contraire, la face antérieure est plus éclairée, la tache est sombre; elle n'est plus visible lorsque les deux faces sont également éclairées.

La luxmètre type Philips permet de donner l'éclairement, en un lieu quelconque, par une simple lecture. Il comprend

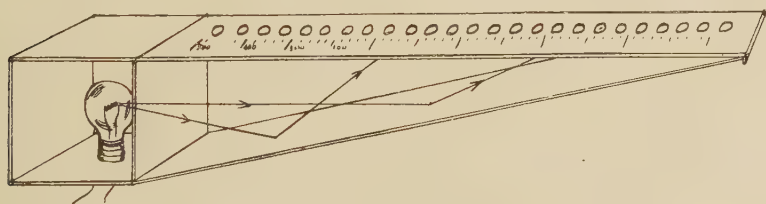


FIG. 1.

une lampe témoin marchant à l'aide de piles; elle est enfermée dans une boîte à parois noircies, qui communique par une de ses faces avec un prisme triangulaire (fig. 1). La face supérieure de ce dernier comprend une série de petites fenêtres garnies d'écrans translucides; la face inférieure est munie d'une plaque blanche et mate; elle reçoit une partie du flux lumineux de la lampe témoin et la renvoie sur la face munie de fenêtres; la surface intérieure de celles-ci reçoit un éclairage décroissant, puisqu'elles s'éloignent de plus en plus de la source lumineuse; leur surface extérieure reçoit le flux lumineux du lieu où est placé l'appareil.

La fenêtre qui a un éclairement extérieur égal à l'éclairement intérieur est à peu près invisible; on se reporte à l'échelle correspondante, qui est graduée en lux; on obtient ainsi directement la valeur de l'éclairement.

Il existe d'autres appareils dans lesquels la lampe est mobile, et le courant employé est le courant industriel; leur emploi est moins pratique.

La mesure du flux lumineux ne se fait pratiquement que dans les laboratoires spécialement outillés. En général, on utilise une sphère creuse dont la surface intérieure est peinte en blanc mat. En un point de la paroi est ménagée une petite fenêtre translucide. On place la source étudiée au centre; ses rayons lumineux se réfléchissent de toute part et viennent éclairer la fenêtre translucide, qu'un petit écran masque aux rayons directs.

La fenêtre agit comme source lumineuse secondaire. On mesure ainsi son intensité lumineuse dans une direction donnée et on en déduit le flux lumineux total émis par la source primaire.

Dans tous ces appareils, c'est l'œil qui juge et apprécie : on a cherché à supprimer cet élément personnel; le but était d'obtenir un test mécanique comme la déviation d'une aiguille de galvanomètre; grâce à des « cellules » spéciales, on a pu mettre en évidence l'effet Hertz Hallwachs et calculer par l'étude d'un courant les intensités de différentes radiations.

Le photolorimètre Toussaint, à cellule de potassium, en est un exemple; il sert à étudier la couleur des produits industriels; il permet d'établir une courbe de couleur, dont le maximum représente le maximum d'intensité, des radiations de la longueur d'onde correspondante à la couleur principale; le point le plus bas indique l'intensité des radiations de la couleur complémentaire.

CHAPITRE IV

ACTION BIOLOGIQUE DE LA LUMIERE

L'action de la lumière se fait sentir sur tous les êtres animés : la cellule, et le protoplasma lui-même subissent son influence; la réaction la plus facile à constater est le phototropisme : un faisceau lumineux attire ou repousse les cellules selon que leur tropisme est positif ou négatif.

Les radiations de grande longueur d'onde semblent prédisposer à la différenciation des cellules; par contre, leur multiplication est influencée par les radiations de fréquence plus élevée; à petites doses, l'instabilité de la cellule est accrue, mais les phénomènes sont réversibles; à plus forte dose, la cellule meurt d'avoir absorbé une énergie trop grande qui coagule son protoplasma.

En 1877, Downes et Blunt étudièrent les premiers l'action de la lumière sur les bactéries. Pansini exposa des cultures de « bacillus anthracis », en gouttes pendantes directement au soleil, à une température de 32 degrés; il les retira de dix minutes en dix minutes. Le surlendemain, en comptant le nombre des colonies développées sur chaque lamelle, il arriva aux résultats suivants :

Lamelle exposée 10' au soleil,	360 colonies;
Lamelle exposée 20' au soleil,	130 colonies;
Lamelle exposée 30' au soleil,	4 colonies;
Lamelle exposée 40' au soleil,	3 colonies;
Lamelle exposée 50' au soleil,	4 colonies;
Lamelle exposée 60' au soleil,	5 colonies;
Lamelle exposée 70' au soleil,	0 colonie.

Sur une lamelle témoin placée dans l'obscurité, à la même température, il compta 2.500 colonies.

La sensibilité des bactéries est variable selon l'espèce et les formes de résistance. Les micro-organismes résistent beaucoup mieux lorsqu'ils sont englobés dans les tissus ou sécrétions pathologiques. Mignéco, à Naples, en inoculant à des cobayes des petites bandes de linges souillés de crachats tuberculeux, obtint des inoculations positives quand ces linges avaient été exposés au soleil pendant plus de vingt heures.

Il faut aussi tenir compte de la température, de la réaction du milieu humoral et de la longueur d'onde des radiations employées. A l'aide de verres colorés sélectifs ou de solutions d'alun ou de quinine, on a constaté que les radiations les plus réfrangibles étaient le plus actives.

L'action de la lumière diffuse est très lente; tout ce que l'on peut dire, c'est que les poussières bacillifères, au bout de quelques mois d'exposition à la lumière diffuse et au grand air, ne sont plus virulentes.

Les sources lumineuses artificielles ont une action d'autant plus importante qu'elles sont plus riches en radiations ultra-violettes; en pratique, on utilise des appareils à ultra-violet pour la stérilisation de l'eau.

*
* *

L'observation courante montre l'importance de la lumière pour les végétaux : les fleurs s'épanouissent au soleil, la plante soumise à un éclairage latéral incliné sa tige de ce côté, une plante verte se décolore et s'étiole dans l'obscurité.

La lumière est indispensable à la fonction chlorophyllienne, fonction assimilatrice qui permet à la plante de décomposer l'acide carbonique de l'air, en fixant le carbone et en rejetant l'oxygène. La fixation du carbone est une réaction endothermique, c'est la lumière qui fournit l'énergie nécessaire; il y a photosynthèse. Le carbone est transformé en amidon

qui est, soit brûlé par les échanges respiratoires, soit transformé en hydrates de carbone destinés au protoplasma.

Guillemin, par la méthode des primes, a montré que les radiations qui permettent à la chlorophylle d'assimiler le carbone, sont celles qu'elle absorbe. Les radiations absorbées sont seules actives : c'est la loi de Grothus. Dans le cas particulier, elles correspondent à une bande noire principale entre les raies B et C (dans le rouge), à trois bandes plus minces entre les raies C et E, et à trois autres plus larges, mais moins foncées, entre la raie F et l'ultra-violet.

Toute flore manque aux grands abîmes marins; les radiations rouges sont absorbées dans les trente premiers mètres; au-dessous, il n'y a plus d'algues vertes. La végétation continue jusqu'à 200 mètres; certaines algues sécrètent un pigment rouge la phycoérythrine, qui recouvre la couche de chlorophylle et transforme pour elle les radiations bleues.

Un des phénomènes les plus curieux est l'action des rayons actiniques sur la croissance. Les céréales, par exemple, germent plus rapidement dans les régions polaires que dans les régions tempérées. Arnell a montré que l'orge met cent dix-sept jours à germer dans la Suède méridionale et quatre-vingt-neuf en Laponie. Le climat actinique est l'inverse du climat thermométrique.

L'influence de la lumière est manifeste sur toute la physiologie de la plante; mais cette action est complexe : selon l'espèce végétale, la quantité ou la qualité des rayons, la plante semble les chercher ou les fuir.

*
**

Nous ne traiterons pas l'action de la lumière sur les animaux; leurs réactions sont comparables à celles de notre organisme, et avant d'étudier ces dernières, nous citerons quelques expériences faites *in anima vili*.

Signalons seulement les recherches de Dubois sur les ani-

maux producteurs de lumière (pholas dactylus en particulier); l'émission de ce rayonnement serait due à un phénomène de « chimioxyluminescence ».

*
* *

Le rôle de la lumière dans la nature est primordial; cependant il faut remarquer que « l'obscurité ne tue point » (Hausmann); tout un monde se dérobe à la lumière : en effet, la faune abyssale comporte certains types aveugles qui n'ont d'autres rapports avec les radiations lumineuses que par l'entremise de leurs proies qui proviennent des eaux diaphanes et de la surface largement éclairée des océans (Jausion et Pagès). Il en est de même de la faune cavernicole et phréatique; les animaux dits troglobiens se sont adaptés à ce mode d'existence et témoignent tous d'une atrophie plus ou moins complète des organes visuels.

La flore souterraine n'a pas révélé de véritables races susceptibles de se reproduire; cependant, certains thallophytes s'accoutument de faibles traces de lumière.

*
* *

La première action de la lumière sur l'homme se manifeste sur l'œil, organe sensoriel, chargé de déceler les radiations lumineuses.

Les questions relatives au mécanisme de la perception lumineuse ne seront pas traitées; nous étudierons seulement l'influence de la longueur d'onde et de la brillance sur la vision. Rappelons que l'acuité visuelle égale à l'unité est celle d'un œil qui distingue des lettres capitales sous l'angle de 5 minutes; ce qui correspond pour l'E et le B à des angles de 1 minute sous-tendus par l'épaisseur des traits; ceux-ci sont égaux au cinquième de la hauteur totale de la lettre.

On admet, en général, depuis Képler, que l'œil fonctionne comme un appareil photographique, les milieux transparents

forment sur la rétine des images renversées des objets observés. La vision résulte de la perception de cette image par les éléments sensibles de la rétine. Ceux-ci comprennent des cônes et des bâtonnets; les premiers sont localisés au niveau de la fovéa, les seconds à la partie périphérique de la rétine; c'est là qu'on trouve le pourpre rétinien.

Les valeurs limites des dernières radiations perceptibles par la rétine sont de $0\mu 8$ du côté du rouge et $0\mu 4$ dans le violet; un œil dépourvu de cristallin est encore sensible au violet aux environs de $0\mu 33$.

Lorsqu'un faisceau de lumière blanche tombe sur la rétine, les bâtonnets et les cônes se contractent, des granulations de pigment viennent les entourer; le pourpre rétinien est détruit, la rétine se décolore et offre une réaction acide; c'est la membrane tout entière qui prend part à la réaction contre l'agent lumineux.

Les grandes longueurs d'onde ont peu d'influence sur le pourpre rétinien et sur la contractilité des éléments; les radiations plus réfrangibles qui ont une plus grande action qui croît rapidement du vert au bleu. Les rayons ultra-violets provoquent la contraction maximum des cônes, et le protoplasma ainsi irradié présente une grande affinité pour les couleurs basiques.

L'accroissement de la sensibilité rétinienne, qui caractérise l'adaptation à l'obscur est d'autant plus grand que la longueur d'onde est plus petite. Cette propriété paraît être le propre des bâtonnets et du pourpre.

Le système optique de l'œil n'est pas parfait; il présente les aberrations propres aux lentilles peu diaphragmées; l'image d'un point n'est pas un point, mais un petit cercle; son diamètre est proportionnel à la longueur d'onde et inversement proportionnel à l'ouverture de la pupille; pour un diamètre donné de celle-ci, ce sont les plus petites longueurs d'onde qui donnent les plus petits cercles de diffraction. L'indice de réfraction des milieux transparents n'est pas le même pour les radiations de toutes longueurs d'onde, et les

distances focales du système optique ne sont pas les mêmes. Si une source ponctuelle émet des radiations de diverses longueurs d'onde, l'image sera formée par une série de petits cercles colorés; si la rétine est en avant du foyer moyen, le bord des objets sera teinté de rouge; si elle est en arrière, celui-ci sera teinté de bleu; ce phénomène permet de condamner tout de suite les enseignes rouges et violettes; il nous est impossible, en effet, de mettre au point, en même temps, les détails des deux couleurs.

On serait tenté de conclure que la lumière idéale serait une lumière monochromatique de faible longueur d'onde; il n'en est rien : c'est la lumière blanche qui donne le plus grand pouvoir séparateur; et cet avantage est supérieur à l'inconvénient d'avoir une image colorée, due à sa composition complexe.

Parmi les lumières monochromatiques, c'est la lumière jaune qui donne la vision la plus nette; mais elle impressionne peu les parties périphériques de la rétine, plus sensibles aux petites longueurs d'onde; aussi les objets qui se trouvent en dehors du champ de vision nette semblent peu éclairés, et l'on a l'impression de moins y voir.

S'il existe trois processus indépendants permettant de percevoir le rouge, le vert, le violet (théories d'Helmetz, Young, Héring), la lumière blanche doit moins fatiguer l'œil.

Du point de vue théorique, la comparaison sur l'œil de deux lumières de coloration différente est complexe. Si une teinte bleutée paraît d'égale clarté avec une teinte légèrement rouge quand l'éclairement est moyen; avec un éclairement très faible, le bleu paraîtra plus clair que le rouge; il paraîtra plus foncé, au contraire, si l'éclairement est plus fort. C'est le phénomène de Purkinje.

Le phénomène de Macé de Lépinay et Nécati se produit en même temps; avec les radiations de longueur d'onde inférieures à $0 \mu 5$, il faut des intensités d'éclairement relativement grandes pour donner une acuité visuelle convenable. Avec des radiations de $0 \mu 497$, Macé de Lépinay et Nécati

ne sont arrivés à donner à leur œil qu'une acuité de 0,47.

Ces phénomènes ne deviennent sensibles que pour des longueurs d'onde inférieures à $0\ \mu\ 517$ et pour des éclairagements inférieurs à 0,7 lux. Broca et Laporte entreprirent de nouvelles expériences avec des lampes à filament incandescent et des lampes à vapeur de mercure : celles-ci donnent une lumière bleue. Ces auteurs constatèrent que pour les intensités d'éclairement habituelles, les différentes sources donnent à l'œil les mêmes acuités visuelles en fonction de l'éclairement.

Quand on présente à l'œil des caractères d'imprimerie en s'arrangeant pour qu'ils soient vus sous un diamètre apparent, égal à un multiple déterminé de l'angle limite correspondant à leur distinction, la vitesse de lecture est constante.

Or, les acuités visuelles sont indépendantes des sources lumineuses employées; celles-ci sont donc équivalentes au point de vue de la vitesse de lecture.

Lorsqu'on lit avec une acuité visuelle voisine de sa valeur limite, la lecture est encore faite, mais au prix d'une fatigue considérable. Lorsque l'angle visuel croît de 1 à 2, l'unité étant l'angle limite, la vitesse augmente rapidement; elle croît encore notablement de 2 à 4; au delà, l'accroissement est négligeable. On peut donner les règles suivantes (Broca) :

« Le travail exécuté avec un angle caractéristique inférieur à 2 doit être proscrit; on doit chercher, toutes les fois que cela est possible, à réaliser des angles caractéristiques entre 3 et 4. La mesure se fait facilement, il faut absolument exiger la reconnaissance du détail à distinguer à une distance triple ou quadruple de celle du travail. »

L'acuité visuelle est encore fonction de l'éclairement : entre 0 et 5 lux, elle croît rapidement jusqu'à 4, puis après tend vers un plateau; nous verrons, à propos des propriétés du bon éclairage, que l'intensité minimum d'éclairement est de 20 lux.

Ce qui importe pour la bonne perception d'un objet donné, c'est la brillance de l'image formée sur la rétine; celle-ci est

proportionnelle : d'une part, au diamètre apparent et à l'éclairement de l'objet, c'est-à-dire à sa brillance, et, d'autre part, à la surface utile de la pupille; celle-ci agit comme un diaphragme automatique; elle règle la quantité de flux lumineux qui pénètre dans l'œil, selon son intensité.

Pour les éclairéments faibles, elle se dilate pour permettre l'entrée maxima du flux.

Pour les éclairéments forts, elle se contracte; et le système optique des milieux transparents étant plus diaphragme, toutes les aberrations sont diminuées, les cercles de diffusion sont plus petits et l'acuité visuelle est augmentée.

La pupille n'est pas seule en cause; les variations de sa surface utile sont beaucoup moins étendues que celles des éclairéments; le plus grand rôle est joué par la rétine, qui possède une remarquable faculté d'adaptation.

Quand l'excitation lumineuse est trop intense et qu'elle risque d'endommager l'intégrité de la rétine, la réaction adaptative de l'œil est plus violente. Le premier réflexe de défense est une constriction énergique de la pupille, qui tend à devenir punctiforme; un pigment noir émigre à la surface de la rétine et forme un écran protecteur pour les éléments sensibiles. La pénétration d'un flux lumineux trop intense produit en même temps un effet aveuglant et la rétine manifeste sa fatigue par la formation d'images accidentelles ou consécutives.

Cette réaction s'accompagne de phénomènes subjectifs : la constriction de la pupille, l'irritation de la rétine et la contraction violente des muscles donnent une sensation douloureuse.

L'ensemble de tous ces phénomènes est appelé *éblouissement*; en résumé, c'est la gêne qui résulte pour l'œil de la présence de sources trop brillantes dans le champ visuel.

Si l'image de brillance exagérée se forme sur la partie périphérique de la rétine, alors que la surface utile du plan de travail est vue par la partie centrale, l'éblouissement se produit. C'est la différence trop grande de brillance qui

importe. Le phénomène est plus intense si la direction de la source, brillante se rapproche de l'axe visuel; il est moins marqué du côté nasal.

L'inconvénient est moindre dans le cas d'un bon éclairage général; l'éblouissement dépend aussi de l'état d'adaptation antérieur de la rétine.

Le facteur principal est la brillance de la source éblouissante; son diamètre apparent et, par conséquent, sa distance important peu; seul l'éclat de l'image rétinienne intervient pour provoquer le phénomène de défense; tout se passe comme si chaque point de la rétine se défend seul; la circulation locale suffit à assurer un équilibre rétinien, en emportant les produits de désintégration et en apportant les produits utiles à la reconstitution de l'organe. Tant que la surface de l'image n'est pas trop grande, les variations de circulation d'un point ne réagissent pas sur celle des points voisins. Cette indépendance n'existe plus si la source lumineuse a de trop grandes dimensions; dans ce cas, la constriction pupillaire croît avec le flux lumineux même si la brillance reste identique.

L'aveuglement produit s'explique par la diffraction du flux lumineux dans les milieux transparents : la source semble être entourée d'un halo intense, et l'image du plan utile semble recouverte par un voile lumineux; tout se passe comme si l'on étend une couche de peinture blanche sur une surface blanche où sont écrits des caractères noirs; on ne peut plus distinguer ceux-ci.

Lorsque l'œil a contemplé une source lumineuse trop brillante, la rétine manifeste sa fatigue de deux manières. On peut observer l'image accidentelle sur fond clair; si on regarde un papier blanc, après avoir contemplé la source, on voit se détacher en sombre l'image de la source; la sensibilité rétinienne est diminuée; le pourpre rétinien est détruit.

Dans un autre cas, on voit apparaître en clair l'image de la source; cette image se maintient un certain temps, puis diminue d'éclat et disparaît en passant par des colorations

diverses; elle serait due au travail de reconstitution de la rétine usée par la lumière.

Laporte et Broca ont noté que la contemplation directe d'une source par un œil adapté à l'obscurité pendant cinq dixièmes de seconde suffisait à donner une image persistante gênante pendant trente secondes et même une minute.

L'éblouissement trouble le mécanisme d'adaptation de l'œil et entraîne la fatigue des muscles; pour continuer à regarder le plan utile en présence de sources de grande brillance, il faut faire un effort volontaire constant; cette sensation est, d'ailleurs, pénible. Les meilleures conditions d'accommodation et de convergence sont réalisées par l'éclairement uniforme.

L'étude de la constriction pupillaire nous renseigne sur la fatigue locale produite par la source lumineuse considérée; ainsi, la brillance de l'arc est de l'ordre de 20.000 bougies par centimètre carré; elle donne à la pupille un diamètre de 3 millimètres; la lampe au tantale a un éclat de 2,4 bougies, et elle donne une constriction de 4 millimètres; la brillance de la lampe à vapeur de mercure est environ de 4,8 bougie, le diamètre de la pupille est de 3 mm. 4; cette constriction, relativement considérable, dépend de la nature des radiations qu'émet cette source.

A côté de cet éblouissement subjectif, la grandeur de la brillance, ou la durée de son action, provoquent un éblouissement objectif; il reste des lésions plus ou moins étendues.

Dans les cas légers, on note une conjonctivite, caractérisée par une rougeur de la conjonctive, accompagnée assez souvent de myosis, et quelquefois une légère hyperémie de la papille; il est exceptionnel, dans le cas de lumière artificielle, que l'acuité et le champ visuel soient diminués.

On observe, en même temps, un érythème palpébral accompagné d'œdème et suivi de desquamation; les phénomènes fonctionnels sont la photophobie, le larmolement et la douleur.

Dans les cas plus graves, on peut rencontrer un scotome

central : la rétine est œdémateuse, la papille flouë; ces phénomènes peuvent disparaître au bout d'un certain temps et la guérison peut être complète, ou bien le faisceau papillomaculaire s'atrophie et la vision n'existe plus. On a signalé des héméralopies, des décollements de la rétine et aussi des cataractes survenues après une exposition à une lumière intense; l'acuité visuelle peut être diminuée et le sens des couleurs perversi.

Ces accidents se rencontrent chez les astronomes qui étudient le soleil au moment des éclipses, chez les ouvriers qui font des soudures électriques, chez les marins torpilleurs chargés de réflecteurs et chez les vedettes de cinéma. La réflexion des radiations solaires par la neige et par les sables provoquent ces ophtalmies qui peuvent conduire à l'amaurose.

Dans la genèse de ces troubles, on a incriminé les radiations de courte longueur d'onde, et particulièrement les ultra-violets. De Chardonnet, Soret et Gayet ont étudié leur absorption par les milieux de l'œil; c'est le cristallin qui a le plus grand pouvoir absorbant. Lorsqu'on sélectionne, à l'aide d'un miroir de Foucauld, les radiations les plus réfrangibles de l'arc électrique, les opérés de cataracte aperçoivent très bien la lueur des charbons, alors que les yeux normaux ne voient plus rien. Ce pouvoir absorbant est plus faible chez les enfants.

Cassien, Lescarret et Birch Hirschfeld, en expérimentant sur l'œil du lapin, ont montré que les radiations ultra-violettes ont une action plus nocive que les autres, mais qu'elles ne sont pas seules coupables; l'action nocive serait due au pouvoir chimique. Lossouarn a repris ces expériences dans le laboratoire du Professeur Sigalas; il incrimine surtout l'intensité lumineuse employée.

Bouchardat attache une grande importance à la fluorescence des milieux de l'œil; les radiations du rayonnement secondaire ont une plus grande longueur d'onde, et elles

traversent les milieux transparents; tous les objets sont alors vus à travers un halo lumineux.

En pratique, les accidents observés sont dus, en général, à la contemplation d'une source chaude de brillance élevée; le maximum des radiations se trouve dans les petites longueurs d'onde. Celles-ci sont en grande partie absorbées avant d'arriver à la rétine, mais elles provoquent des conjonctivites très graves. Toulant a pu produire une ulcération de la cornée en exposant un œil de lapin, pendant douze minutes, à 60 centimètres d'une lampe 1/2 watt de 500 bougies. Quant aux sources lumineuses froides, elles sont plus rarement causes d'accidents graves; cependant, la présence d'une grande proportion des rayons actiniques irrite l'œil, et, même pour une faible brillance, la constriction pupillaire est relativement considérable.

Les radiations infra-rouges sont absorbées par les milieux transparents; mais si leur rayonnement est trop intense, on observe une sensation de chaleur, de la céphalée et du larmoiement.

On peut éviter ces accidents par l'emploi de verres colorés protecteurs; leur port est recommandé et obligatoire dans certaines industries.

Les verres fumés et les verres bleus arrêtent une bonne partie du spectre; les premiers arrêtent peu les radiations les plus réfrangibles; les seconds ne les arrêtent pas; le flux lumineux est moins important, mais l'acuité visuelle est notablement diminuée. Dans la marine, on employait autrefois des verres bleus.

Les verres de Fieuzal (teintés avec les oxydes de fer de manganèse et d'urane) arrêtent les ultra-violets dans de grandes proportions; ils atténuent tout le spectre et laissent une bonne acuité visuelle. La teinte n° 6 est à recommander aux marins qui manient les projecteurs.

Les verres jaunes « Motais » suppriment toutes les radiations au-dessous de $\lambda = 0,540$; ils laissent une bonne vision, mais donnent une impression lumineuse trop éclatante. Les

verres à l'esculine (substance extraite du marron d'Inde) présentent les mêmes avantages; leur teinte est légèrement jaunâtre; leur emploi est très recommandable. On associe quelquefois des verres bleus et des verres rouges; l'ensemble arrête presque tous les rayons lumineux; ils sont très obscurs. Actuellement, on fabrique des verres spéciaux, qui absorbent seulement les rayons ultra-violets : les verres ophtalmiques et filtrants en sont des exemples.

L'éclairage insuffisant provoque des troubles sérieux beaucoup plus fréquents : il est la cause principale de la myopie progressive chez les enfants et les adolescents.

Rare chez les jeunes enfants, elle débute vers 8 à 12 ans. C'est une vraie maladie, qui se développe lentement sans douleur, jusqu'à ce que l'allongement graduel du globe oculaire ne permette plus à l'image de se former nettement sur la rétine; les complications les plus graves sont : le décollement de la rétine et le scotome central, qui entraînent une cécité définitive.

En travaillant avec un éclairage insuffisant, l'enfant a tendance à rapprocher l'objet; la convergence met en jeu les muscles latéraux et obliques; ils compriment le globe oculaire et augmentent sa tension. Le nerf optique est tirailé, ce qui dispose à l'élongation postérieure. L'accommodation n'augmente pas la tension et ne contribue pas à l'allongement du globe, puisque l'hypermétrope ne devient pas myope.

En même temps, la paroi postérieure de la sclérotique s'amincit; plus élastique chez l'enfant, elle se laisse distendre plus facilement, peut-être aussi du fait d'une prédisposition héréditaire.

Cohn a établi que, dans toutes les écoles, le nombre des myopes augmente de classe en classe; de même, le degré moyen de myopie croît avec la progression des exigences scolaires.

La proportion des myopes est de 1 p. 100 dans les écoles primaires, de 26 p. 100 dans les lycées et de 59 p. 100 dans les facultés.

Les couturières travaillant avec un faible éclairage représentaient autrefois le huitième des malades d'ophtalmologie.

On a incriminé l'éclairage insuffisant dans la pathogénie du nystagmus des mineurs; d'après Ohm, les causes principales sont : la position de ceux-ci, le regard dirigé au-dessus du plan horizontal, le changement brusque de l'adaptation rétinienne en passant de l'obscurité à la lumière du jour et les variations de pression atmosphérique en excitant le labyrinthe. L'éclairage est certainement un facteur adjuvant.

La privation de lumière entraîne une mydriase et une exaltation de la sensibilité rétinienne, la nyctalopie. Au bout d'un certain temps, on peut observer une amaurose complète; on cite des cas de cécité survenus après des séjours prolongés dans des cachots obscurs.

*
* *

Les radiations lumineuses n'agissent sur les cellules vivantes qu'autant qu'elles sont absorbées, aussi le tégument étant le premier obstacle qu'elles rencontrent, c'est lui qui sera le plus touché.

Hasselbach a calculé que si l'on fait traverser à une radiation de longueur d'onde $\lambda = 0 \mu 366$ une épaisseur de 0 mm. 5 de peau, le faisceau efférent ne représente plus que 3 p. 100 du faisceau afférent; ce rapport serait encore plus petit sur la peau vivante. Les radiations visibles sont plus pénétrantes que l'ultra-violet; le rayonnement entre $\lambda = 0 \mu 6$ et $\lambda = 1 \mu$ traverse tout le tégument; au-dessus de ces longueurs d'onde, l'infra-rouge est rapidement absorbé.

Nous étudierons rapidement : la pigmentation et le coup de lumière, la sensibilisation aux radiations lumineuses et les principaux avantages et inconvénients qui en résultent; tous ces phénomènes dépendent de l'éclairage, et en particulier de l'éclairage solaire; cet inventaire sera incomplet, car nous envisagerons la lumière donnée par un éclairage rationnel, et les questions relatives à l'héliothérapie et aux lucites des gens vivant au grand air ne seront pas traitées.

L'irradiation solaire laisse après elle une pigmentation variable, selon les individus; ce hâle serait dû à la présence d'un aminoacide phénolique, la mélanine, dans les couches profondes de l'épiderme muqueux. Le pigment normal serait élaboré par les cellules rameuses de Langerrhaus; elles forment dans les couches profondes du corps muqueux un réseau tropho-mélanique chargé du cycle métabolique du pigment; les rayons actiniques auraient pour effet de provoquer leur différenciation; les capillaires sanguins leur apporteraient les matériaux de la promélanine, le soufre sous forme de glutathion et les corps pyrroliques d'origine hémoglobique.

On observe en même temps de l'hyperkératose et une accélération de la trichogénèse.

Ce sont les longueurs d'onde comprises entre $0 \mu 25$ et $0 \mu 36$ qui sont le plus mélanogènes; ce sont les faisceaux de radiations absorbées par les albuminoïdes.

Les radiations rouges et infra-rouges ont surtout un effet colorique; elles provoquent la vaso-dilatation. Sont-elles antagonistes, biologiques, des premières? Le soleil est d'autant plus actif qu'il est plus froid et Finsen cherche dans l'actinothérapie du lupus à refroidir le faisceau lumineux et à ischémier la peau; par contre, Dreyer et Jansen montrent que la sympathicotomie locale, cause d'hyperémie, aggrave sur l'oreille du lapin les accidents qu'y provoque l'arc de Finsen. Le rôle de la vaso-dilatation est diversement interprété par les auteurs.

Quand un individu s'expose à la lumière solaire pendant quinze à vingt minutes, la température ambiante étant de 30 à 35 degrés, on voit apparaître un érythème primaire avec transpiration: ces phénomènes s'amendent rapidement. Au cours de la deuxième heure après l'irradiation, se développe insensiblement un érythème secondaire, qui va en croissant jusqu'à la douzième heure. Le deuxième jour, la vitropression ne peut plus anémier les téguments; elle laisse apparaître un piqueté hémorragique. La semaine suivante marque le début de la pigmentation; elle s'accompagne de des-

quamation d'abord furfuracée, puis en flots, et, la troisième semaine, la surcharge pigmentaire, variable selon les sujets, est à son comble; elle régresse pour disparaître au bout de deux mois.

Cette description montre un érythème primaire qui est dû au coup de chaleur et une épidermite secondaire due à l'actinite; l'ensemble forme le coup de soleil.

En automne et au printemps, au bord de la mer ou sur des champs de neige, on observe des actinites pures. La dermite peut se compliquer d'œdème, de phlyctènes, laissant après elles des ulcérations et même des escarres; le tégument, très douloureux au toucher, est le siège d'une intolérable cuisson. En même temps, aux accidents locaux, s'ajoutent des phénomènes généraux : malaise, lassitude, vertige, nausée, céphalée et même hyperthermie allant jusqu'à 40 degrés. Il y a quatre ans, au mois de juin, le Professeur Petges observa, à la Clinique dermatologique, des accidents graves dus à la lumière avec phlycténisation et même production de bulles sur les parties découvertes. Plusieurs malades durent être hospitalisés et certains présentèrent de la fièvre.

Nous signalons une forme suraiguë, véritable apoplexie lumineuse, ou « hélocution », une forme subaiguë, l'actinite chronique, avec œdème et myasthénie de Carnot et Terris, et une forme chronique avec nécrose cutanée, prédominant aux oreilles.

L'exposition à un rayonnement riche en rayons calorifiques produit une véritable apoplexie calorique : c'est ce qu'on appelle l'« insolation ». Cet accident se produit surtout sous le soleil des tropiques.

Les radiations de courtes longueurs d'onde du rayonnement solaire provoquent des altérations cutanées analogues aux radiodermes; ce sont les radiolucites de Gougerot. Les plus connues sont le « xeroderma pigmentosum » de Kaposi ou l'épithéliomatose pigmentaire de Besnier, le cancer des gens de mer de Unna, l'épithéliomatose pigmentaire des paysans de Dalous et Constantin, et la kératose sénile précancéreuse de W. Dubreuilh.

Les réactions de l'organisme aux radiations lumineuses ne sont pas comparables entre elles; le terrain joue un rôle important; le réseau trophomélanique est sous la dépendance du système vagotonique.

Chez les blonds vagotoniques, dont la lumino-sensibilité est considérable, la pigmentation réactionnelle montre l'insuffisance des réserves pigmentaires; elles se rassemblent en mottes qui forment des macules irrégulières, de dimension inégale, contrastant avec la peau laiteuse qu'elles parsèment; ce sont les éphélides, ou taches de rousseur. Elles se distribuent surtout aux régions découvertes de la peau; au visage, elles siègent sur l'emplacement ordinaire du loup du hâle : elles soulignent le masque photo-traumatique.

Chez les sympathicotoniques, la surcharge pigmentaire peut se faire en nappe continue, mais chez des sujets prédisposés il existe une véritable ataxie pigmentaire, le vitiligo. C'est une leucomélanodermie, qui procède par poussées à chaque semestre actinique et qui est toujours plus contrastée sur la peau découverte.

La lumière exagère encore chez les sympathicotoniques certaines anomalies, la pigmentation aréolaire du cou, le chloasma des femmes enceintes et les surcharges mélaniques des basedowiens et des addisoniens.

Dans certaines conditions, les tissus peuvent capter une quantité de rayons plus grande que ne le laisserait prévoir la physiologie normale; il suffit qu'ils soient imprégnés des substances chimiques spéciales photodynamiques.

« Titze observa deux lots de chevaux systématiquement nourris l'un d'orge de brasserie, l'autre d'escurgeon (orge fourragère) teinte d'éosine. Les animaux de la seconde fraction, sains à l'écurie, présentaient par contre des accidents toxiques au pacage ensoleillé. » (Jausion et Pagès.)

Pour que la réaction biopathologique existe, il faut qu'il y ait en présence trois éléments : tissu vivant, catalyseur ou sensibilisateur et lumière. Cette rencontre se fait dans l'épiderme spongieux, plus facilement imprégné de sensibilisa-

teur, qui représente l'écran photodynamique. « Les catalyseurs ou substances photodynamiques ou photosensibilisatrices sont des corps colorés ou fluorescents, sans que ni l'une ni l'autre de ces propriétés soit strictement nécessaire à son action. Ce sont des corps doués de propriétés optiques suffisantes pour induire le protoplasma sous l'influence de radiations appropriées. » Ces corps suivent les lois de Grothus et de Stokes, énoncées dans les chapitres précédents.

Les principaux sensibilisateurs utilisés en médecine sont des colorants des groupes du triphénylméthane, de la quinone imide, du noir d'aniline et de l'acridine.

Les porphyrines animales (hématoporphyrines) et les porphyrines végétales (chlorophylle), les pigments biliaires, l'hypericumrot du mille pertuis, l'esculine et la pyocyanine sont les principaux sensibilisateurs biologiques.

Les diphénols réducteurs, résorcine et pyrocatechine, empêchent la photocatalyse; la pommade au bromhydrate de quinine forme un écran protecteur.

Stephans Jausion et Marceron ont décrit « le coup de lumière acridinique », observé chez des blennorragiens gonacrinés. La dermite est une actinite, la gonacrine absorbe en effet dans le bleu ultra-violet.

On a décrit des accidents dus à l'éosine (Prime) au goudron. La mélanose de Riehl est probablement due à un sensibilisateur inconnu. L'eau de Cologne et l'essence de bergamote augmenteraient la mélanodermie.

A propos du pityriasis versicolor achromiant, Seyer, Hyronimus, Jausion et Pagès ont soulevé l'hypothèse d'une sensibilisation par les mycoporphyrines, et cette photocatalyse serait réversible. Ces derniers auteurs ont pu, avec une lampe L D G de Dufflot-Dufestel, obtenir le virage des médaillons foncés. Il s'agit peut-être d'une simple protection du tégument par le champignon (Prof. Petges).

La pellagre de l'homme est en relation évidente avec l'action solaire : au printemps, de larges plaques érythémateuses apparaissent sur les parties découvertes; la peau

devient œdémateuse, et cet état s'accompagne d'une sensation de brûlure et de prurit. Après deux ou trois semaines, surviennent la pigmentation et la desquamation; enfin s'installe une atrophie cutanée type sénile. On a incriminé les hyphomycètes du grain de blé; ils donneraient dans l'intestin de l'hématoporphyrine; il s'agirait plutôt, d'après Gougerot, d'une carence en vitamines ou d'une carence simple en amino-acides ou en sels minéraux, par suite d'une alimentation monomorphe.

Signalons la thèse vétérinaire de Richert (1926) sur les pellagres animales; elles s'expliquent par l'ingestion énorme de pigments dérivés de la chlorophylle.

La porphynurie est un état prédisposant à l'hydroa vaccini-forme de Bazin, qui est influencé par les radiations, mais elle accompagne aussi les dermites sulfonamiques et barbituriques, qui surgissent sans l'action de la lumière.

*
* *

Le rayonnement solaire possède une action manifeste sur la croissance, le métabolisme et enfin sur chaque appareil de notre organisme.

Wollman et Vagliano ont entrepris une série de recherches expérimentales sur la croissance des rats blancs. Ceux-ci furent mis à un régime composé de caséine purifiée, de riz glacé et de sels minéraux, le tout additionné de 2 p. 100 d'extrait de levure riche en vitamine B et de 1 p. 100 de beurre riche en vitamine A. Les rats sont mis dans un cabinet noir; leur poids moyen est de 35 grammes. Un lot est exposé pendant trois à cinq minutes à la lumière de la lampe à vapeur de mercure tous les jours. Au bout de trente jours, le poids moyen des rats du premier lot est passé de 35 à 98 grammes, soit une augmentation de 63 grammes; les sujets du second lot n'avaient augmenté que de 33 grammes. Si le régime ne contient pas de beurre, l'irradiation ne produit aucun effet.

Gigon a repris les recherches sur les modifications du métabolisme provoquées par la lumière. L'élimination de l'azote par l'urine est indépendante de l'éclairage. L'administration de sucre chez les animaux vivant à la lumière augmente la glycémie et surtout le taux de carbone total dans le sang; chez les animaux élevés dans l'obscurité, les modifications sont à peu près nulles.

La lumière est nécessaire à la fixation du calcium dans l'organisme. Soumettons de jeunes rats au régime 85 de Pappenheimer (expérience rapportée par Binet) :

Farine de blé, 80,9 p. 100;

Albumine d'œuf, 10;

Beurre, 5;

Mélange de sels, 4,1.

On les met dans un cabinet obscur, ils ne tardent pas à devenir rachitiques; l'examen de leurs côtes montre un cha-pelet rachitique; les lésions sont vérifiées par l'histologie. L'animal reçoit du calcium et n'arrive pas à le fixer. L'exposition journalière aux rayons solaires ou aux ultra-violets le protège contre le rachitisme.

« Les recherches de Steenbock, Hess, Windaus et Rosenheim ont abouti à la conclusion que la vitamine D est un stérol d'origine végétale, l'ergostérol, irradié par les rayons ultra-violets. Il suffit d'en ajouter un millième de milligramme par jour à la nourriture des rats pour les préserver ou les guérir du rachitisme. Ces découvertes donnent l'explication de l'effet curatif remarquable de l'huile de foie de morue, cette huile contenant, par suite du mode de nourriture de la morue l'ergostérol à l'état actif; elles expliquent aussi les bons effets de la lumière solaire et de l'exposition aux rayons ultra-violets qui activent dans la peau le stérol inactif, toujours associé dans ce tissu au cholestérol. » (Héden.)

Woringer a montré que les radiations de faible longueur d'onde agissaient sur la tétanie, conséquence de l'hypno-

calcémie; celle-ci, après irradiation, remontait de 0,070 p. 1.000 à 0,116 grammes.

La phosphatémie est également augmentée.

L'absorption des infra-rouges par le sang est assez importante; elle est variable, très forte en cas de jeûne, faible dans les anémies; l'insuline, en diminuant le taux du carbone, rend le sang plus transparent. L'exposition au spectre fait baisser la pression artérielle.

D'Arsonval a étudié l'action de la lumière sur la motilité : la variation brusque d'intensité provoque une contraction.

On sait peu de chose sur l'influence du spectre sur l'appareil digestif et ses annexes, sur la fonction rénale et les glandes endocrines.

L'action sur l'appareil respiratoire a été mise en évidence par Fubini et Benedicenti : le chimisme respiratoire des animaux hibernants est plus accentué à la lumière qu'à l'obscurité.

L'influence de la lumière sur le système nerveux est manifeste. « Toute son action serait due à des phénomènes réflexes ayant pour point de départ les terminaisons nerveuses cutanées et portant électivement sur les systèmes sympathique et parasympathique. Rothman et Jesioneck rapportent l'hypotension artérielle *a lumine*, à une hyposympathicotonie » (Jansien et Pagès.)

La lumière bleue aurait un pouvoir calmant; les nerfs sensitifs seraient inhibés; cet effet est quelquefois employé en chirurgie dentaire, mais les expériences du Professeur Cavalié et de Lossouarn montrent que dans une grande proportion le résultat est dû à la suggestion.

Les rayons rouges sont excitants; le taureau et le dindon sont particulièrement sensibles. L'excitation des ouvriers de la maison Lumière par la lumière rouge est classique.

L'insolation méthodique et rationnelle des gens bien portants est une bonne chose. D'après Hornicke, elle augmente leurs facultés corporelles et intellectuelles et la résistance contre les maladies. La pigmentation est un signe favora-

ble : on a recommandé l'onction au beurre de coco ou à l'huile de coprah pour diminuer la sensibilité cutanée et augmenter la tolérance aux rayons.

L'action de la lumière est favorable dans certaines maladies de peau, la pelade, l'alopecie, le vitiligo, l'acné. La méthode la plus célèbre est celle de Finsen dans le traitement du lupus. Cette action est précieuse dans les tubercules locaux; gommés cutanées, adénopathies, ostéoarthrite, laryngite et péritonite; la simple exposition à l'air et à la lumière diffuse après laparotomie suffisent pour guérir la forme ascitique. Il ne faut pas oublier que la lumière est un excitant, aussi doit-on la doser prudemment et ne l'employer que sur des organismes tolérants.

On utilise des bains de lumière dans les raideurs articulaires, les troubles trophiques et le rhumatisme chronique.

L'action de la lumière sur les plaies est très intéressante. Elle est bactéricide pour les microbes et phlogogène pour les tissus; elle excite la réaction fibro-scléreuse et ainsi la cicatrisation. On note une inhibition des leucocytes polynucléaires; le tissu de bourgeonnement insolé est comme déshabité par ceux-ci. Leriche et Policard se demandent s'ils fuient à cause de l'amélioration de la plaie ou s'il ne s'agit que d'un cas de phototropisme négatif. Baudrimont a étudié l'influence des pansements colorés; il n'obtint pas de résultats décisifs; la lumière blanche semble la plus recommandable.

On s'est demandé si la lumière ne jouait pas un certain rôle dans l'immunité. Raoul Bernard croit que l'éruption cutanée de la syphilis secondaire est utile à l'immunisation spontanée. Gougerot a réuni un certain nombre de faits; il pense que la syphilis « colombienne », très dermatrope, est moins grave; il semble, d'après lui, que les éruptions cutanées, spécifiques ou non, aient, en général, une influence heureuse sur l'évolution de la syphilis; le mécanisme de cette réaction cutanée défensive est inconnue, mais la lumière semble susciter son activité.

Il faut noter aussi que les maladies éruptives sont, en général, immunisantes.

Lorsque le sujet ne supporte pas l'irradiation lumineuse soit par intolérance individuelle, soit par séances trop longues, on observe des troubles graves : la température peut monter, le pouls s'accélère, la tension artérielle subit des variations et on observe des troubles digestifs : malaise, vomissements, amaigrissement.

L'exposition directe au soleil est très dangereuse chez les congestifs, en particulier chez les tuberculeux pulmonaires.

Sans déchaîner ces désordres, les radiations, par l'« ébranlement humoral » qui résulte de leur action sur les cellules, peuvent réveiller des virus latents : c'est le photobiotropisme. Les exemples les plus frappants sont : l'herpès des alpinistes, l'apparition d'une rougeole ou d'une scarlatine, à la suite d'une actinite. La sortie de l'acné est souvent liée à l'absorption de faibles quantités lumineuses.

La lumière, diminuant la résistance de la peau favorise l'évolution de nombreuses dermatoses. Brocq a insisté sur la fréquence des dermites du décolletage féminin, en particulier du lupus erythémateux.

M. le Professeur Petges a bien voulu nous communiquer les deux observations suivantes :

« Un malade, guéri depuis douze ans d'une radiodermite grave consécutive à une irradiation de la nuque, revient en automobile de Biarritz à Bordeaux; l'exposition au soleil à travers la glace fut le point de départ d'une récurrence grave : sur les parties découvertes au niveau de la radiodermite, il présentait une lucite avec phlyctènes.

» Une femme était guérie depuis quatre ans d'une radiodermite grave de la joue provoquée par les rayons X : un coup de soleil a déclenché une récurrence de cette radiodermite. »

Finsen a montré que les ultra-violets favorisaient la supuration des pustules varioleuses, aussi est-il prudent de les enfermer dans des locaux garnis de verres rouges.

Au cours des transformations des colloïdes organiques, sous l'action des radiations, il peut naître des substances nouvelles, qui agissent comme antigène et peuvent provoquer des phénomènes allergiques; c'est la photo-anaphylaxie. On a décrit des urticaires, des prurigos, des eczémas solaires; le problème est complexe, car on peut rencontrer en même temps un patient électif, type vago-séborrhéique, un antigène et un photo-sensibilisateur.

CHAPITRE V

QUALITES DU BON ECLAIRAGE

Le but de l'éclairage est de permettre à l'œil de distinguer facilement et sans fatigue les détails des objets observés; pour cela, il faut réaliser dans chaque catégorie de travail ou d'occupation, un éclairage convenable et mettre l'œil dans les meilleures conditions de perception.

D'autre part, les sources lumineuses ne sont pas seulement génératrices de radiations visibles, elles rayonnent de l'énergie, elle sont le siège de combinaisons chimiques, et, par ces différentes actions, troublent les constantes du milieu où elles se trouvent. Il faut tenir compte de ces modifications, car certains appareils d'éclairage peuvent devenir incommodants et même dangereux.

Il est enfin une dernière qualité requise : l'éclairage doit être économique.

*
* *

Déterminons d'abord l'éclairement nécessaire à une bonne perception. Dans le chapitre précédent, nous avons vu que l'acuité visuelle était pour de faibles valeurs de ce dernier, proportionnelle à l'éclairement; sa première qualité est d'être constant, sous peine de donner une acuité visuelle variable; cette condition est réalisée lorsque la source lumineuse a une intensité constante et continue. Il est nécessaire d'avoir une certaine marge au-dessus de la valeur minima de l'éclairement pour que de faibles variations de celui-ci ne donnent pas des variations de l'acuité visuelle.

On sait déjà qu'il faut proscrire tout éclairage qui ne permettrait pas de distinguer la reconnaissance d'un détail, à une distance au moins double du travail. On admet comme plus petites valeurs, pour les travaux ordinaires, 15 à 30 lux. D'autre part, les grands éclairages ont pour effet de rétrécir la pupille et de rendre la vision plus nette.

L'étude de la constriction pupillaire, dans le cas de grands éclairages, donne une indication pratique sur l'éclat de l'image rétinienne qui est produite par la contemplation en vision directe du plan sur lequel on travaille. Le diamètre pupillaire est à peu près constant et relativement considérable : 6 millimètres si l'on garde des éclairages convenables, c'est-à-dire supérieurs à 15 lux. Au-dessous de 10 lux, la dilatation de la pupille influe sur l'acuité visuelle, qui commence à diminuer; au-dessous de 1 lux, elle varie entre 0,8 et 0,5. Si l'on veut distinguer les détails avec la même précision, il faut diminuer la distance du livre à l'œil; ceci n'est possible que si l'accommodation le permet; le myope est avantagé; mais s'il met en jeu son accommodation, il fait un effort nuisible, qui, s'il est souvent répété, le condamne à la myopie progressive.

Si l'éclairage a une influence sur la netteté de la vision, il joue un certain rôle dans la rapidité de la perception. Faisons tourner à vitesse constante un cylindre portant des lettres de différente grosseur. Pendant que l'appareil tourne, on l'éclaire tantôt fortement, tantôt faiblement. Chaque fois que l'éclairage est renforcé, le mouvement paraît ralentir, et chaque fois qu'il est diminué, le mouvement paraît s'accélérer.

Si l'on étudie la vitesse de la lecture, le temps nécessaire à la reconnaissance d'un nombre donné de mots diminue de façon appréciable quand l'éclairage est augmenté; c'est le test de Cohn. Le test de Korff-Peterson détermine en plus l'acuité visuelle avec des intensités lumineuses différentes. La valeur de ces tests dépend beaucoup de la sensibilité personnelle et de la profession; ainsi, sous un bon éclairage,

les ouvriers typographes tapent plusieurs centaines de lettres par minute.

Cependant, Broca fait remarquer que la vitesse de lecture est surtout fonction du multiple de l'angle limite sous lequel sont vus les caractères. Le temps nécessaire à la reconnaissance d'une lettre varie de 1 à 25 quand l'angle sous-tendu varie de 1 à 4, l'unité correspondant à l'angle limite. Pour la valeur 2 de cet angle, on trouve, l'éclairement variant de 140 à 20 lux, que le temps nécessaire à la reconnaissance de la lettre E varie de 0,030 seconde à 0,120 seconde; l'expérience a été faite à travers une pupille de 2 millimètres de diamètre; l'acuité visuelle est passée de 4,2 à 0,63.

La vitesse de lecture d'un texte varie moins rapidement; une série de lettres vient successivement se peindre au même point de la rétine, le cerveau étant déjà entraîné à ce travail de reconnaissance, l'aide psychique est moins complexe.

Les Américains ont déterminé que l'éclairement optimum était de 35 foot candles, soit 267 lux; la vitesse de lecture de caractères gothiques « old england » sur papier blanc avait augmenté de 64 p. 100 lorsque l'éclairement était passé de 4 à 25 foot candles; la vitesse de base était celle qui correspondait à un éclairement de 1,56 foot candles. En employant du papier gris et des caractres blancs, l'amélioration n'était que de 17 p. 100 pour l'éclairement de 25 foot candles et l'optimum n'était pas atteint; la vitesse de base était celle qui correspondait à l'éclairement 6,25 foot candles.

Lorsque l'œil regarde très attentivement un objet, il se fatigue à un tel point que les détails de cet objet deviennent indistincts au bout d'un certain temps; la vision est « brouillée ». Une augmentation de l'éclairement améliore la netteté de la vision soutenue; la grandeur de l'angle sous-tendu joue un grand rôle également.

L'augmentation de l'éclairement offre un triple avantage;

l'acuité visuelle tend vers son maximum, la perception est plus rapide, la durée de la vision nette est augmentée; en un mot, le rendement de l'œil est amélioré et les industriels se sont vite aperçus que l'augmentation de l'éclairage avait pour effet d'augmenter la production bien au-delà de l'accroissement du prix de revient provoqué par les dépenses relatives à l'amélioration de l'éclairage.

Cette valeur pratique de l'éclairage a surtout été étudiée en Amérique. Des essais ont été faits au service de vérification d'une fabrique de roulements à billes, à Colombus. Le nombre des roulements inspectés par un opérateur fut déterminé avec l'ancien système d'éclairage, fournissant en moyenne 50 lux sur le plan de travail, puis avec des systèmes rationnels fournissant 60, 130 et 200 lux. Un soin tout particulier fut pris pour que des facteurs autres que l'éclairage ne pussent pas influencer les résultats trouvés, et les ouvriers ne surent pas que leur production était surveillée.

Avec l'ancien éclairage donnant 50 lux sur le plan de travail, le nombre de pièces inspectées par opérateur et par heure était de 408. Avec un système rationnel donnant un éclairage de 60 lux, le nombre des pièces fut de 424, ce qui faisait une augmentation de 4 p. 100. Avec un éclairage de 130 lux, le débit horaire atteignait 440, puis 458 avec 200 lux. Le débit total a donc été accru de 12,5 p. 100, et les dépenses supplémentaires correspondant à l'augmentation d'éclairage se sont élevées au cinquième environ du prix de la main-d'œuvre économisée.

D'autres essais furent faits à Chicago, à Détroit, à New-York; la production augmentait de 10 à 30 p. 100 et les dépenses atteignaient de 2 à 5 p. 100 du prix de la main-d'œuvre supprimée; ainsi, la seule augmentation de l'éclairage dans les bureaux de tri de lettres de l'hôtel des postes de New-York permit de réaliser une économie de plus de 100.000 dollars en une année.

Une autre étude très intéressante a été faite par les compa-

gnies d'assurances américaines. Elles ont montré que 18 p. 100 des accidents étaient dus à un défaut d'éclairage; pour chaque mois de l'année, le nombre total des accidents du travail est inversement proportionnel à la durée moyenne de l'éclairage diurne. C'est au mois de décembre qu'on voit le maximum. Il faut proscrire les éclairages insuffisants, non seulement au nom de l'hygiène de la vue, mais aussi au nom de la sécurité.

*
* *

Nous venons de montrer que l'accroissement de l'éclairement améliorerait la perception de l'œil, cela n'est vrai que si l'œil n'est pas ébloui.

La principale cause d'éblouissement est l'éclat exagéré de la source lumineuse employée : il est nécessaire de la cacher par un écran où de la dissimuler derrière un diffuseur. Nous avons vu que, dans le cas de source à grande surface, l'éblouissement était proportionnel au flux lumineux.

La position de la source dans le champ visuel intervient; l'effet nocif est d'autant plus accentué qu'il se trouve plus près de l'axe de vision de l'observateur. En supposant celui-ci horizontal, il conviendra de disposer le foyer à une hauteur suffisante; on admet généralement que l'angle des rayons lumineux et de l'axe de la vision doit être au moins de 25 à 30 degrés.

Il ne doit pas y avoir de trop grandes différences d'éclairement; le sujet doit être éclairé en même temps que l'objet considéré et les objets environnants.

Si le sujet est dans l'obscurité, sa pupille se dilate et son acuité visuelle diminue.

Si les objets environnants sont moins éclairés que le plan utile, il suffit de les regarder pour n'être plus adapté lorsqu'on se remet à son travail. Il faut condamner l'emploi exclusif des éclairages locaux.

Il faut aussi prendre garde à l'exposition prolongée d'un foyer lumineux dans le champ visuel. On peut être ébloui

sans s'en rendre compte; il suffit de masquer la source lumineuse par un écran; si l'œil subissait l'éblouissement, il aura la sensation de mieux y voir.

Le foyer lumineux peut être en dehors du champ visuel de l'observateur et cependant causer l'éblouissement par sa réflexion sur une surface polie ou brillante; l'emploi du papier glacé n'est pas à recommander; si on l'utilise, il faut s'arranger à ne pas recevoir les rayons symétriques des rayons incidents; dans ce cas, on voit sur le papier l'image de la source.

L'étude de ces différentes causes d'éblouissement permet de distinguer celui-ci de l'excès de lumière : le phénomène se produit quand il y a une trop grande différence entre les intensités des faisceaux lumineux qui frappent l'œil; cette différence relative peut exister dans l'espace et dans le temps. On est ébloui en regardant des objets de brillance plus élevée que celle des objets voisins ou bien en passant d'un lieu obscur dans une pièce éclairée. Cependant, à partir d'une certaine brillance, l'œil, même adapté, ne peut regarder un objet ainsi éclairé sans être ébloui.

La notion d'éblouissement nous a fait écarter les ombres trop dures, faut-il les supprimer ? non, car ce sont elles qui permettent d'observer les objets dans les trois dimensions. La source lumineuse doit éclairer les plans horizontaux et verticaux, elle doit posséder une surface suffisamment grande pour obtenir des ombres douces. Si l'on veut exagérer le relief d'une surface, on peut employer l'éclairage tangentiel. L'éclairage sans ombre rend impossible certains travaux, comme la couture du blanc sur blanc.

L'œil étant accoutumé à fonctionner à la lumière du jour, il semblerait logique d'admettre que l'éclairage artificiel doive s'en rapprocher le plus possible; mais les caractéristiques de l'éclairage naturel sont difficiles à définir, et l'éclairage artificiel peut avoir une couleur sensiblement différente de celle de la lumière du jour sans que l'œil en souffre.

Les atmosphères enfumées ou chargées de poussière absor-

bent les radiations de faible longueur d'onde; on a intérêt à utiliser, dans ces locaux, des sources lumineuses riches en lumières jaune et rouge.

Ces mêmes radiations de faible longueur d'onde sont plus particulièrement diffusées par le brouillard : on a mis au point un verre spécial à base de sulfure de cadmium qui arrête ces radiations et laisse passer les rayons jaunes.

Sauf dans certains cas particuliers, la couleur n'a pas une grande importance, mais lorsque le flux lumineux contient une trop grande proportion de rayons de longueur d'onde plus petite que $0\ \mu\ 33$, il vaut mieux protéger l'œil par des verres spéciaux ou n'utiliser qu'un éclairage indirect.

*
* *

La plupart des sources lumineuses possèdent également un rayonnement calorifique; nous avons déjà vu son action à propos de la lumière solaire; les sources artificielles peuvent être de bonnes sources de chaleur, mais les accidents pathologiques qu'elles provoquent sont rares. Les colories dégagées ont surtout pour action d'élever la température ambiante et secondairement de modifier son état hygrométrique.

L'échauffement d'une certaine quantité d'air agit également sur la ventilation : en général, si celle-ci est suffisante, les modifications apportées dans ces constantes physiques ne sont pas très grandes.

Dans certaines sources artificielles, surtout dans celles qui résultent de la combustion des gaz, il se forme des corps qui se dégagent dans l'atmosphère.

Les plus importants sont le gaz carbonique et la vapeur d'eau. Celle-ci est déjà un élément constitutif de l'air; le gaz CO_2 est à l'état de trace dans l'air pur; il est plus dense que lui et se dépose dans les régions les plus basses; une bonne ventilation suffit à le chasser, mais dans certains locaux sans aération, il peut, en trop grande quantité, provoquer des troubles pathologiques, en particulier l'asphyxie.

Il peut y avoir combustion incomplète et dégagement d'anhydride carbonique, qui est dangereux au taux de 1 p. 1.000; il provoque une intoxication chronique, se traduisant surtout par de la céphalée et de l'anémie, à 1 p. 500, il est mortel; il bloque l'hémoglobine du sang et empêche l'apport de l'oxygène au niveau des tissus.

Rubner a calculé les quantités de chaleur de gaz carbonique et de vapeur d'eau dégagées par les différentes sources lumineuses pour une intensité de 100 bougies H. K. (bougies Hefner).

	Chaleur dégagée	CO ₂ dégagé	H ₂ O dégagé
Lampe à arc.....	57 cal.	»	»
Lampe à incandescence électrique à filament de carbone.....	270 cal.	»	»
Lampe à incandescence électrique à filament métallique.....	86 cal.	»	»
Lampe à gaz.....	830 cal.	0 kg. 17	0 kg. 06
Lampe à gaz avec brûleur Argand..	5 500 cal.	0 kg. 13	0 kg. 08
Lampe à pétrole.....	3.080 cal.	0 kg. 87	0 kg. 37
Bougies de stéarine.....	7.880 cal.	2 kg. 44	0 kg. 9

L'appareil d'éclairage doit présenter deux dernières qualités : il ne doit pas être dangereux, en particulier ne doit provoquer ni accidents, ni incendie, ni explosion; enfin, il doit être économique.

A propos de chaque source lumineuse nous signalerons ses caractéristiques particulières.

CHAPITRE VI

SOURCES LUMINEUSES

La principale lumière naturelle nous est donnée par le soleil, c'est lui qui fixe la durée du jour en un lieu, selon la déclinaison et selon la latitude.

Il nous apparaît comme un disque dont le diamètre apparent est d'environ 32 minutes; son diamètre réel est de 1.390.000 kilomètres. Sa distance est environ de 149.000.000 de kilomètres et sa lumière met 8 minutes à nous parvenir.

Sa constitution chimique a été révélée par l'analyse spectrale; on trouve les raies d'absorption de l'hydrogène, de l'hélium, de l'argon, de l'oxygène, et celles des vapeurs métalliques, le magnésium, le sodium, le calcium et le fer. Sa température est supérieure à 5.700 degrés.

Sa brillance est de l'ordre de 150.000 bougies par centimètre carré de surface apparente pour un observateur terrestre. L'éclairement que le soleil donne sur la terre à notre latitude, par un beau jour de juillet, est de l'ordre de 100.000 lux; en décembre, il est encore de 10.000 lux.

Le soleil illumine les couches supérieures de l'atmosphère; celles-ci nous paraissent bleues sous une grande épaisseur; et ce sont elles qui diffusent les radiations utiles pour l'éclairage des intérieurs. La « lumière du jour » nous est donnée par le ciel illuminé par le soleil. L'intensité de ce flux lumineux varie avec l'état du ciel et aussi la nature des éléments qui recouvrent la surface terrestre.

L'éclairement est donc fonction de la saison et de l'état du ciel, ciel uniformément nuageux ou ciel bleu taché de

gros nebuli blancs; il est aussi augmenté lorsque la surface terrestre est recouverte par la neige ou par de grandes étendues d'eau. En été, dans une pièce bien éclairée, l'éclairement par lumière diffuse dépasse 200 lux.

Le spectre émis par le soleil n'est pas toujours égal : ses variations sont dues en grande partie à l'absorption atmosphérique, qui varie selon l'ambiance physico-chimique; elles sont, en pratique, négligeables. Ce spectre, abstraction faite des raies de Fraunhofer, qui le sillonnent, est sensiblement identique à celui qu'émettrait un corps noir à la température de 6.000 degrés. Le maximum de l'énergie solaire rayonnée sur la terre correspond à la longueur d'onde : $\lambda = 0 \mu 556$; elle se trouve dans le jaune verdâtre. C'est d'ailleurs, pour cette couleur que l'œil présente son acuité visuelle la meilleure.

Les limites du spectre sont les radiations de longueur d'onde : $0 \mu 29$ et 5μ ; les radiations de plus courte longueur d'onde sont absorbées par l'ozone et l'ammoniaque des couches supérieures de l'atmosphère; les plus longues sont interceptées par le gaz carbonique et la vapeur d'eau.

*
* *

Les premiers appareils d'éclairage ont utilisé les flammes éclairantes; la combustion des corps gras riches en hydrocarbures libère les atomes de carbone qui se combinent avec l'oxygène de l'air pour former du gaz carbonique CO_2 ; l'hydrogène donne de la vapeur d'eau. Ce sont les petites particules de carbone incandescentes qui sont éclairantes; celles qui ne sont pas brûlées forment la fumée.

Autrefois, on employait les lampes à huiles végétales (huile de colza, d'œillette, d'arachide); une mèche plongeait dans le liquide et l'huile montait par capillarité.

En même temps, on se servait de la chandelle de suif qui a été remplacée par la bougie stéarique plus pratique; elle fumait moins et l'on n'était pas obligé de la moucher.

Le tableau du chapitre précédent montre que ce sont les bougies qui dégagent le plus de chaleur, le plus de gaz carbonique et le plus de vapeur d'eau, mais le tableau est établi pour des intensités de 100 bougies, et il est rare d'avoir 100 bougies allumées à la fois; cependant on peut noter qu'une bougie dégage 15 litres de CO_2 par heure, presque autant qu'un homme.

Dans les temps modernes, on a remplacé les huiles de pétrole; pour assurer une bonne combustion, il fallait un courant d'air violent, nécessitant un verre de lampe; la flamme était régulière et donnait un très bon éclairage.

La quantité de chaleur dégagée était très importante et la quantité de gaz carbonique produite par heure était de 94 litres. Les vapeurs de pétrole mélangées avec 4 ou 8 volumes d'air donnent lieu à une explosion : elle se produit, en général, au moment de l'extinction, lorsqu'il y a peu de pétrole dans le récipient. En France, la loi n'autorise que les huiles de pétrole qui s'enflamment à partir de 36 degrés; ce sont des liquides distillant entre 150 et 180 degrés, dont la densité est 0,800. Ces appareils nécessitent un entretien journalier.

La flamme de l'alcool a un faible pouvoir éclairant; si l'on y ajoute de la benzine, la flamme est plus éclairante, mais le mélange est d'un maniement dangereux.

*
* *

Le gaz fourni par la distillation de la houille donne, en brûlant, une lumière à bon marché et d'un emploi très pratique; mais il a de gros inconvénients : il contient 8 p. 100 d'oxyde de carbone et des carbures d'hydrogène toxiques. Il suffit qu'il y ait 4 p. 100 de gaz dans l'air pour que celui-ci soit toxique; on le décèle, en général, grâce à son odeur. Il faut avoir les conduites les plus courtes dans l'habitation, ne jamais en mettre dans les chambres à coucher; les robinets devront être étanches; ainsi que les conduites; mais

de nombreuses fuites se produisent au niveau des fondations des immeubles où les tuyaux salpêtrés sont ébranlés par des vibrations mécaniques ou simplement rongés par les rats.

Le mélange d'un volume de gaz avec 11 volumes d'air est détonant.

On a d'abord employé la flamme seule (bec, bougie, bec fendu, bec papillon), puis on a fait arriver le gaz par une couronne percée de trous admettant un courant d'air à son centre; pour une arrivée trop importante de celui-là, la luminosité disparaît (bec Bunsen), mais la flamme est beaucoup plus chaude, et si l'on place à l'intérieur un manchon opaque type Auer, il devient incandescent et donne une lumière intense; ce manchon est fait d'oxydes de terres rares (oxyde de thorium additionné d'oxyde de cérium). Les Allemands emploient le brûleur Argand. Ce mode d'éclairage est le plus économique et le plus salubre de tous les autres systèmes à gaz.

La quantité de gaz carbonique produite est en moyenne de 88 litres par heure : la chaleur dégagée est suffisante pour élever la température ambiante de plusieurs degrés.

Le docteur Dargelos a trouvé, dans ses expériences faites au lycée Mignet, à Aix-en-Provence, que l'élévation de la température d'une salle d'études était de l'ordre de 4 à 6 degrés au bout de trois heures d'éclairage.

L'acétylène est un gaz obtenu en général par la décomposition du carbure de calcium par l'eau; c'est un gaz d'odeur alliée qui est moins toxique que le gaz d'éclairage.

Il forme avec l'air un mélange détonant dont la puissance destructive est énorme. Comprimé à deux atmosphères, il explose très facilement, l'échauffement du robinet lorsqu'on le tourne suffit; actuellement on l'emploie en solution sous pression dans l'acétone; c'est la forme la moins dangereuse.

L'acétylène donne une flamme très blanche; l'éclairement produit est agréable; il est regrettable qu'il soit dangereux. On peut également adapter à l'intérieur de la flamme un manchon incandescent.

*
**

L'éclairage électrique sera étudié d'une façon plus approfondie; c'est le plus répandu et aussi le plus parfait.

Une des premières sources lumineuses électriques fut l'arc; entre deux charbons de cornue que l'on écarte, on fait passer un courant électrique, une étincelle jaillit et réunit les deux pôles; le pôle positif donne 85 p. 100 de lumière, le pôle négatif 10 p. 100 et l'arc 5 p. 100.

Ensuite on chercha à utiliser l'effet Joule, pour porter à l'incandescence un filament; les premiers filaments étaient en cellulose effilée, agglomérée à la presse, puis enfin carbonisée; ces lampes dépensaient 3 w. 5 par bougie; pour éviter la combustion du filament, on faisait le vide à l'intérieur de l'ampoule.

Wolfran étudia les lampes à filament métallique, plus chères de prix d'achat mais plus économiques, la dépense par bougie était abaissée à 1 watt (lampe monowatt). Les premiers filaments métalliques furent en osmium, en tantale, puis en tungstène. La durée des lampes est augmentée si l'on introduit à l'intérieur des gaz impropres à la combustion (lampe demi-watt).

Le rapport entre le flux lumineux exprimé en lumens et le flux d'énergie en watts est appelé efficacité lumineuse. Voici un tableau donnant les principales caractéristiques de certaines lampes.

Type de la lampe	Température	Efficacité lumineuse	Brillance par cm ²
Filament de carbone traité.....	1.800	3,4	55
Filament de tungstène dans le vide :			
lampe de 40 watts.....	2.200	10	200
Filament de tungstène en atmosphère gazeuse :			
lampe de 100 watts.....	2.460	10,9	580
lampe de 500 watts.....	2.640	18,1	1.000
lampe de 1.000 watts.....	2.700	20	1.200
Soleil.....	5.700	91	150.000

Ce tableau indique les brillances de ces sources lumineuses; elles sont trop élevées et provoquent l'éblouissement; dans ce but, on diffuse les radiations soit au moyen de matières vitreuses, soit au moyen de surfaces métalliques.

Dans une diffusion régulière, soit par réflexion, soit par diffusion, la surface diffusante peut être considérée comme une source secondaire de lumière. Si l'on réduit les extrémités des vecteurs proportionnels aux intensités, dans les directions d'un plan normal à la surface diffusante, on obtient une courbe appelée *indicatrice de diffusion*.

Dans la diffusion régulière, la brillance est constante et conserve une valeur fixe pour toutes les incidences, ce qui entraîne la *loi de Lambert*.

Dans le cas d'une surface parfaitement diffusante, l'indicatrice de diffusion est un cercle tangent à la surface diffusante.

Soit :

S la surface diffusante;

b sa brillance;

I l'intensité lumineuse dans une direction normale à la surface.

On a, par définition : $b = \frac{I}{S}$.

Si l'on fait tourner la surface diffusante d'un angle φ , la surface apparente S' , pour l'observateur, deviendra :

$$S' = S \cos \varphi$$

La brillance reste constante; il suit :

$$I' = I \cos \varphi$$

Lorsque l'angle φ parcourt 360 degrés, il est démontré en trigonométrie que l'extrémité du vecteur $I \cos \varphi$ décrit un cercle.

Comme réflecteurs, on emploie les métaux polis, l'argent, le chrome, l'aluminium, le nickel, l'acier poli. La réflexion métallique est sélective : elle varie avec la longueur d'onde.

Le verre argenté, protégé par le cuivre, est très recommandable. Le métal émaillé et l'aluminium donnent une réflexion semi-diffuse : pour les incidences obliques, l'indicatrice de diffusion présente une pointe dans la direction de réflexion régulière.

Les principales matières vitreuses employées sont : le verre opalin et le verre dépoli. Le premier est préparé en incorporant à la pâte de verre de la cryolithe (alumine et fluorine). On n'emploie pratiquement que le dépoli intérieur.

Il existe des verreries claires taillées suivant des arêtes prismatiques; elles utilisent les propriétés de la réfraction et de la réflexion totale; leur répartition est facile à calculer. Ces appareils assurent une bonne diffusion.

Devant les filaments très lumineux, on met, en général, un globe opale. Prenons une lampe de 100 watts, la surface apparente du filament est plus petite que 1 centimètre carré; la brillance est de 580 bougies. Si nous l'enveloppons dans un globe opale de 25 centimètres de diamètre, la surface apparente de diffusion sera égale à la surface d'un cercle ayant pour rayon celui de la sphère, soit environ 475 centimètres carrés. Si le verre est suffisamment opaque pour paraître uniformément lumineux, la brillance sera 475 fois plus faible; elle sera donc de 1,2 bougie environ; ce qui est une brillance tout à fait acceptable.

En pratique, il faut tenir compte de l'absorption par la substance vitreuse, qui est en général d'un cinquième du flux lumineux; une bonne partie des radiations de courte longueur d'onde est absorbée par le verre de l'ampoule.

Les réflecteurs sont surtout utilisés dans les appareils d'éclairage indirect et dans les projecteurs.

L'intensité lumineuse des lampes est calculée à l'aide d'un photomètre. On mesure, dans un plan passant par l'axe de l'appareil, les différentes intensités lumineuses dans toutes les directions. On suppose la source réduite à un point; on porte à partir de ce point, pris comme origine, des vecteurs proportionnels à l'intensité de la source dans les directions

considérées. L'union des extrémités des vecteurs, forme *une courbe photométrique*.

Celle-ci dépend de la forme du filament; en général, on adapte un appareil diffuseur qui la modifie dans un sens donné. Dans les appareils d'éclairage direct, la courbe a la forme d'une cloche à base inférieure; celle-ci regarde en haut si l'appareil doit servir à l'éclairage indirect. Si ce dernier est semi-direct, la courbe est trifoliée, il y a un prolongement inférieur central et deux supérieurs latéraux.

On ne peut pas désigner les lampes par leur intensité lumineuse en bougies suivant une direction horizontale; on les désigne par leur puissance exprimée en watts. Les ingénieurs passent d'un système à l'autre, à l'aide de règles à calcul; ils arrivent à exprimer l'intensité d'éclairement d'une surface, en watts par mètre carré.

Le rendement des lampes modernes à incandescence va en s'améliorant à mesure que la puissance de la lampe s'augmente. Il est compris entre 7 lumens par watt pour les lampes de faible intensité et 48 lumens par watt pour celles à très forte intensité; le rendement lumineux augmente donc avec l'intensité du filament, mais au bout d'un certain temps l'intensité lumineuse décroît. Les vapeurs de tungstène forment en se condensant un dépôt absorbant une partie de la lumière.

Outre les lampes colorées en différents tons, on fabrique des lampes dites « lumière jour » dont l'ampoule est en verre bleuté spécial, ayant pour fonction d'arrêter l'excès des rayons rouges. Ces lampes sont plus poussées, le filament est plus chaud, mais le rendement est moins bon, 30 p. 100 du flux lumineux sont absorbés. On les emploie quand il est indispensable de ne pas altérer les couleurs naturelles par l'éclairage artificiel.

Les lampes à vapeur de mercure sont formées de longs tubes de verre contenant de la vapeur de mercure à très faible pression; on fait éclater un arc électrique entre une anode en fer et une cathode en mercure; le rayonnement calorifique est faible, la température est comprise entre 100 et 200 degrés.

La source lumineuse ayant une grande surface apparente, la brillance est très faible, de l'ordre de 2,3 bougies par centimètre carré. Le risque d'éblouissement est évité.

La composition du flux émis contient un excès notable de radiations bleues verdâtres; aussi les couleurs des objets se trouvent profondément modifiées.

Depuis quelque temps, sont entrés dans la pratique des tubes contenant des gaz à faible pression (système Claude Lumière); ceux-ci s'illuminent lorsqu'ils sont traversés par des décharges électriques. Autrefois on les faisait fonctionner sous des tensions très élevées, c'étaient les tubes de Geissler; maintenant, on est arrivé à faire des tubes plus longs fonctionnant sous des tensions plus basses (3.000 volts), mais avec un ampérage plus important.

Dans un tube, on ne met qu'un seul gaz; il donne une lumière pratiquement monochromatique : le néon, une lumière orangée; l'azote, une lumière rose, et le gaz carbonique, une lumière verdâtre. Leur efficacité lumineuse est de 70 lumens par watt.

On commence à utiliser des tubes à vapeur de sodium pour l'éclairage extérieur.

Le spectre émis par les lampes électriques varie avec la température de leur filament. Le rayonnement des filaments de charbon contient surtout des radiations jaunes rouges et infra-rouges; celui des lampes « monowatt » est très riche dans toute son étendue. La lampe demi-watt émet un rayonnement visible prédominant dans le violet, plus un riche faisceau d'ultra-violet. Les spectres des lampes à arc et à vapeur de mercure contiennent de nombreuses radiations ultra-violettes.

Sont-elles dangereuses pour l'œil ? Il faut se méfier des trois dernières catégories, car elles émettent un flux considérable. Cependant, le verre de l'ampoule et les diffuseurs absorbent une grande partie des radiations ultra-violettes. Avec l'éclairage direct, surtout au moyen de lampes à vapeur de mercure, il est recommandé de porter des verres absor-

bant les ultra-violets. Avec l'éclairage indirect ou semi-indirect, ces radiations sont pratiquement absorbées.

Les sources lumineuses électriques modifient peu le milieu ambiant, soit par leurs propriétés physiques, soit par leurs propriétés chimiques.

Il faut dire un mot de leur sécurité; en général, on emploie un courant alternatif sous la tension de 110 à 220 volts. Les installations doivent être soigneusement faites; d'ailleurs, les règlements actuels sont rigoureux, c'est un courant dangereux; on cite à son actif des accidents mortels, et il est considéré comme le point de départ de nombreux incendies.

Le bureau « Véritas » admet la tension de 250 volts en courant continu; ce dernier est surtout utilisé à bord des bateaux.

Actuellement, la Société française des électriciens étudie la façon pratique de ramener cette tension de 110 à 55 volts; cette dernière est utilisée dans les théâtres et sur quelques bateaux modernes. Les wagons des chemins de fer à vapeur sont éclairés avec un courant de 24 volts, et jamais on n'a signalé ni accidents mortels, ni incendies.

CHAPITRE VII

ECLAIRAGE DES INTERIEURS

A. — *Eclairage diurne.*

Nous avons vu l'importance de la lumière pour la vie : nous avons besoin du soleil ; c'est la source naturelle des radiations lumineuses, et c'est aussi la plus puissante : mais elle agit comme une force supérieure et immuable, aussi sommes-nous obligés de lui subordonner les rapports des habitations.

Le soleil a le maximum d'éclat lorsqu'il est le plus haut, au-dessus de l'horizon, à midi, mais le maximum thermique de la journée est entre 2 et 3 heures de l'après-midi ; de même, les jours les plus longs sont aux environs du 27 juin et la vague de chaleur atteint son maximum au début d'août ; ce décalage représente environ un huitième de sa marche annuelle.

Appliquées à Paris, ces données fixent l'axe héliothermique à 19 degrés à l'est de la ligne nord-sud : *l'axe héliothermique* est l'axe que forment le soleil et la terre, au maximum thermique de la journée.

Il est admis et il devrait être obligatoire que le 21 décembre, jour le plus court de l'année, les rayons solaires viennent frapper pendant un heure au moins alternativement sur les deux façades opposées de la rue à la base de chaque construction.

Cette règle impose à la rue une largeur minima : celle-ci doit être fonction de la latitude du lieu, de la hauteur des bâtiments et de l'angle que forme la rue avec le méridien.

A la latitude de Paris, les résultats des calculs donnent une valeur de 1,5 pour le rapport de la largeur de la voie

et de la hauteur des bâtiments (L. 15 févr. 1902). Cette disposition est applicable pour les latitudes comprises entre le 33° et le 60° parallèle.

La rue idéale devrait être orientée selon l'axe héliothermique; c'est la disposition adéquate pour que les façades des deux côtés reçoivent une part égale de rayonnement thermique; celui-ci est aussi utile que le rayonnement lumineux pour l'hygiène des constructions.

Les maisons de façade possèdent en général une double épaisseur de chambres; une partie importante de celles-ci doit prendre l'air et la lumière sur un espace libre intérieur : la cour. A Paris, leur surface est en général de 60 mètres carrés et les bâtiments riverains atteignent 20 et 30 mètres. L'air n'y circule pas et le rez-de-chaussée, le premier et le deuxième étage ne reçoivent jamais de rayons directs.

L'immeuble insalubre est en premier lieu celui dans lequel les rayons solaires ne peuvent pas pénétrer. Louis Martin et Georges Brouardel ont trouvé, dans des conditions semblables, que la proportion des cas de tuberculose signalés est de 1,8339 pour 100 habitants dans le rez-de-chaussée, le premier, le deuxième et le troisième étage. Dans les trois étages supérieurs, ils n'ont trouvé qu'un pourcentage de 1,5639.

Il faut signaler deux annexes de l'habitation particulièrement insalubres, les sous-sols et les loges de concierge. Le règlement sanitaire de Paris exige que celles-ci aient une superficie de 12 mètres carrés et qu'elles soient directement éclairées et aérées par des baies ouvrant sur rue ou sur cour.

Nos grandes villes modernes ne sont pas construites selon toutes les règles hygiéniques. En construisant de nouveaux immeubles, il ne faut pas reprendre les anciennes erreurs. « Il faut savoir respecter les grands tracés historiques jalonnés des monuments qui racontent la gloire de la cité. » (Rey.) Après les avoir dégagés, il faudra les encadrer de parterres de verdure et de plantations abondantes. Il est nécessaire de donner à la ville, un « plan vert »; ce sont les plantes

qui régénèrent l'air vicié en absorbant le gaz carbonique et en libérant l'oxygène.

Les Romains construisaient leurs cités sur des promontoires au confluent de deux rivières ou dans des cirques naturels. Leurs maisons s'étagaient sur des gradins, exposés au sud. La disposition de ces villes était esthétique et hygiénique.

Au moyen âge, la raison militaire primait l'hygiène, et la défense de la cité était le premier souci; actuellement, les vestiges qui en restent sont certainement très pittoresques, mais l'aération et l'insolation son réduites au minimum.

Aujourd'hui, l'immeuble moderne doit être construit sans cour, loin des rues, au milieu d'un jardin. Au centre de la ville, quelques gratte-ciels isolés au milieu d'un parc abriteront les administrations, les grands services publics et les grands magasins, et autour de vastes cités-jardins organisées en lotissements à redents ou fermés, abriteront la population urbaine et suburbaine. Telle est la conception de Le Corbusier; elle est séduisante au point de vue hygiénique, puisque la surface plantée variera entre 50 et 95 p. 100 de la surface totale.

A la campagne, une maison abrite en général une seule famille; elle est peu élevée et largement baignée par le soleil. En Vendée, les vieilles demeures ont leurs façades tournées vers le sud, sud-est; elles sont simples, les pièces habitées sont au midi et un grand couloir ou galerie les réunit, côté nord.

Il nous faut examiner maintenant les conditions rationnelles dans lesquelles l'air et la lumière doivent pénétrer à l'intérieur des habitations; cet échange se fait par les fenêtres.

C'est la « lumière du jour » qui donne l'éclaircissement principal de nos intérieurs. Les objets environnants, murs, façades, peuvent diffuser les radiations solaires, mais ce facteur est en général faible et très variable; il vaut mieux ne pas en tenir compte.

P étant l'angle d'inclinaison des points limite de la tache lumineuse, on a :

$$\operatorname{tg} P = \frac{h}{p}, \text{ mais } p = \frac{3}{2} h; \text{ d'où } \operatorname{tg} P = \frac{2}{3},$$

d'où il suit : $\hat{P} = 33^{\circ} 41' 26''$.

Le plan utile est en général à une certaine distance au-dessus du plancher; sa distance à la fenêtre ne doit pas dépasser le double de la hauteur du rebord supérieur de la fenêtre, sur ce plan. Un calcul analogue donne environ 27 degrés comme angle d'inclinaison minimum.

Pour que le pied des constructions reçoive des rayons lumineux sous un angle de 33 degrés, il faut que la hauteur des immeubles riverains ne dépasse pas les deux tiers de la largeur de la rue, ce qui entraîne la règle déjà posée.

On peut calculer la profondeur à laquelle pénètrent les rayons directs venant du ciel à l'aide de la formule de Kuster :

$$p = B \frac{s}{H - (s + f)}$$

p étant la profondeur de la tache lumineuse sur le plancher;

H étant la hauteur de l'immeuble en face;

s étant la hauteur du rebord supérieur de la fenêtre au-dessus du plan utile;

f étant la hauteur du plan utile au-dessus du sol;

B étant la largeur de la rue (fig. 2).

L'angle d'ouverture mesure l'étendue de la voûte céleste qui envoie des rayons sur le lieu éclairé. Pour un point donné, il est formé par les droites qui vont de ce point au bord supérieur de la fenêtre et à la limite supérieure du toit de l'immeuble en face (angle $\hat{O}$, fig. 2). Il est nul à la limite de la tâche lumineuse éclairée par les rayons directs. En pratique, on détermine cette limite à l'aide d'un miroir horizontal : c'est le lieu des « points d'évanouissement du ciel ».

On admet qu'au niveau du plan utile, il faut un angle d'ouverture de 4 degrés.

En résumé, il faut autant que possible que la fenêtre atteigne le plafond; on augmente ainsi les angles d'ouverture et d'inclinaison et on supprime l'espace nuisible qui se trouve derrière le rebord supérieur.

L'abaissement du rebord inférieur donne des rayons aveuglants inutiles. Certains auteurs conseillent cependant de le descendre le plus bas possible, de façon à récupérer le plus de rayons réfléchis par les murs opposés; cette disposition est utile dans les étages inférieurs, qui ne reçoivent pas leur part de lumière. Actuellement, on construit des fenêtres larges; elles assurent un éclairément plus élevé et une meilleure répartition du flux lumineux; le plan de travail dans la pièce commande la hauteur du bas de la baie. Arthuys et Bayle ont envisagé des systèmes ingénieux de miroirs et de lentilles pour envoyer la lumière solaire dans les locaux obscurs.

D'après le règlement sanitaire de Paris du 22 juin 1904, la surface de la fenêtre doit représenter le sixième de la superficie de la pièce. Il faut tenir compte de la capacité du local : si celle-ci est 25 mètres cubes, l'ensemble des fenêtres doit couvrir au moins 2 mètres carrés; il faut augmenter leur surface de 1 mètre carré chaque fois que le volume de la pièce croît de 30 mètres cubes.

Il faudrait une législation sur le cubage de lumière naturelle; pour cela, il est nécessaire de fixer un étalon d'éclairage.

Ce qu'il faut savoir, c'est la quantité de lumière du jour qui pénètre dans une pièce donnée. On peut l'évaluer sous la forme d'un rapport entre la lumière naturelle existant à l'intérieur et celle existant à l'extérieur, en plein jour. Ce rapport, inférieur à l'unité, indiquera si les fenêtres sont suffisantes en dimensions, en nombre et aussi en emplacement, dans une certaine mesure, car l'éclairément d'une pièce n'est pas seulement fonction de la quantité de lumière

qui y rentre, mais aussi de celle qui est absorbée par les tentures, le plafond et les meubles. Ce rapport sera constant quelle que soit l'époque, pourvu que les deux mesures concomitantes soient faites avec un ciel d'éclat uniforme. Au point de vue hygiène, il faut prendre le taux direct d'éclairement diurne, le taux par le ciel non obstrué. Les ingénieurs ont tendance à tenir compte du taux total, le taux direct et le taux indirect (lumière diffusée par les façades opposées).

Il existe deux méthodes pour mesurer le taux d'éclairement diurne. On peut le mesurer sur le toit; il donne le pourcentage de l'illumination mesurée en même temps sur une surface horizontale idéale exposée à un hémisphère complet d'un ciel de brillance égale.

Ce taux peut encore se mesurer au seuil de la fenêtre; il définit le pourcentage d'éclairement sur une surface horizontale extérieure, exposée à la moitié d'un hémisphère s'étendant de l'horizon au zénith. Le rapport obtenu est deux fois plus grand avec ce dernier taux qu'avec le précédent.

En principe, ces deux taux sont comparables, mais le problème de la lumière indirecte apporte une inconnue. Les Anglais ont adopté le second.

Pour mesurer le taux d'éclairement diurne, on emploie un appareil photoélectrique type Lévy et Rio; il comprend une cellule de sélénium dont la résistance varie avec l'illumination et un amplificateur spécial avec lampe triode. Un ampèremètre permet de calculer l'illumination à laquelle l'appareil a été soumis.

Avec deux cellules comparables, l'une sur le toit, l'autre à l'intérieur de la pièce, il sera facile, à l'aide d'un pont électrique de Kolsrauth, de lire directement sur le galvanomètre le taux d'illumination.

En Angleterre, les tribunaux ont jugé que tout emplacement intérieur, réduit à un taux d'éclairement de moins de 0,4 p. 100 mesuré au seuil de la fenêtre, a subi une perte susceptible d'attribution de dommages et intérêts. Ce taux

d'éclairement donne 10 lux sur une table par un temps assez sombre; cet éclairement est considéré comme minimum.

Les vitres laissent-elles passer tout le spectre lumineux ? non, elles arrêtent à peu près complètement les rayons ultra-violet.

On fabrique certains verres imperméables aux radiations infra-rouges (verre « krathermie »). Il existe maintenant des verres de vitre perméables aux ultra-violets, type « ultravit », « sanitrabit », « uviol ». On les emploie dans quelques hôpitaux.

B. — *Eclairage artificiel.*

Nous n'étudierons que l'éclairage électrique, car désormais les autres appareils ne sont plus que des appareils de secours.

Lorsque pour la première fois, en 1878, des bougies Jablochkoff éclairèrent l'avenue de l'Opéra, le nouvel éclairage fut très attaqué par les médecins, et Bouchardat réclamait aussitôt sa suppression dans la *Revue scientifique*. Depuis, la lumière électrique fut adoptée par tous; la « Société française des électriciens » et la « Société pour le perfectionnement de l'éclairage » furent créées, et contribuèrent pour une bonne part aux progrès réalisés dans la technique de l'éclairage du point de vue de l'hygiène de l'œil. Leur but est de réaliser des éclairagements qui se rapprochent le plus de ceux que nous donne la lumière du jour; c'est la voie qu'avaient indiquée depuis longtemps Tscherning, Javal et Broca, mais on rencontre encore quelques hygiénistes qui s'indignent des grands éclairagements préconisés à l'étranger et déclarent suffisants, comme M. Barger, des éclairagements de 15 lux.

L'emploi de sources lumineuses de plus en plus grandes a obligé les ingénieurs à trouver d'autres techniques, de nouveaux dispositifs architecturaux; un nouvel art fut créé : l'éclairage décoratif. Ces progrès récents n'empêchent pas

que les mauvaises installations soient encore très nombreuses; on rencontre bien souvent des lampes à filament nu qui éblouissent et n'éclairent pas.

Les éclairagements à prévoir sur les surfaces où s'exécutent des travaux doivent être suffisants pour permettre de réaliser dans les meilleures conditions les différentes opérations que comportent ces travaux.

Il faut des éclairagements d'autant plus élevés que le facteur de réflexion des objets est plus petit et que les contrastes à mettre en évidence sont plus faibles : nous avons déjà vu que la brillance de l'image rétinienne était proportionnelle à l'éclairément de l'objet et au facteur de réflexion.

Voici un tableau donnant quelques valeurs approximatives :

<i>Facteur de réflexion.</i>	<i>Valeur des contrastes.</i>
Papier à dessin blanc.... 70 à 80 %	Etoffe noire et papier à des-
Trait de crayon mou..... 25 %	sin blanc 1/18
Trait de crayon dur 45 %	Ecriture à la machine sur pa-
Etoffe noire 0,3 à 4 %	pier blanc 1/8
	Ecriture au crayon sur papier
	blanc 1/3

L'éclairément doit être suffisant pour reconnaître les détails à une distance triple et quadruple de celle du travail, et la facilité de lecture croît avec la quantité de flux reçu. On admet comme valeur optima pour le travail de bureau, 75 à 90 lux : au-dessus, la brillance du papier devient gênante.

Autrefois, on admettait comme valeurs minima 5 à 15 lux; l'électricité permet de donner maintenant des éclairagements presque aussi élevés que ceux de la lumière du jour.

Il existe trois principaux modes d'éclairage : direct, indirect et mixte.

Dans l'éclairage direct, toute la lumière est envoyée vers le bas. Les appareils sont constitués par des réflecteurs opaques accompagnés ou non de globes ou d'écrans diffuseurs. Ils laissent dans l'ombre certaines parties de la pièce et donnent en général une lumière dure. Il vaut mieux ne pas les

employer seuls dans l'éclairage des intérieurs; ce sont eux qui permettent les dispositions les moins rationnelles. Il est encore courant de rencontrer des lampes à filament nu, recouvertes d'un abat-jour plat en tôle émaillée; elles éblouissent, elle éclairent peu en général. On peut utiliser ces appareils pour renforcer l'éclairement du plan utile (c'est le cas des lampes de bureaux), mais il ne faut pas qu'il y ait de trop grande différence entre l'éclairage local et l'éclairage général.

Dans le mode indirect, toute la lumière est envoyée vers le haut, de façon à faire jouer au plafond, le rôle de source secondaire de grande superficie. Celui-ci doit être de couleur très claire et mate.

L'éclairement du plafond doit être aussi uniforme que possible, et la consommation d'énergie électrique ne doit pas être excessive.

Les éclairages indirects par corniche sont difficiles à réaliser. Il vaut mieux employer des sources localisées. Le système le plus simple consiste à employer des coupes opaques fixées sur un piédestal ou suspendues au plafond. Il est nécessaire d'obturer la partie supérieure par un demi-globe de verre, pour que la poussière ne s'accumule pas au fond de la coupe. On peut dissimuler dans des colonnes, des chapiteaux, les lampes et les réflecteurs, c'est l'art de l'éclairage décoratif.

Les appareils mixtes, semi-directs et semi-indirects, dirigent la lumière dans toutes les directions. Ils sont en général formés de réflecteurs translucides et d'écrans diffuseurs. On construit actuellement des appareils dont la courbe photométrique est à peu près circulaire, toute la pièce est également éclairée, et le plan utile sous-jacent peut avoir un éclairement de 80 lux. La lumière est douce et ne donne pas de contrastes accusés. Ce sont les appareils les plus économiques qui donnent l'éclairage le plus rationnel.

On appelle coefficient d'utilisation d'un appareil donné dans un local donné le rapport du flux total reçu par les

objets éclairés au flux réellement émis par la lampe. Il dépend :

1° du type d'appareil choisi;

2° d'un coefficient appelé *indice local* : « *i* ».

dans le cas d'éclairage direct :

$$« i » = \frac{\text{largeur du local}}{2 \times \text{hauteur utile}}$$

dans le cas d'éclairage indirect :

$$« i » = \frac{\text{largeur du local}}{4/3 \text{ hauteur utile.}}$$

La hauteur utile est la distance du foyer lumineux au plan utile.

Les coefficients varient très peu pour les valeurs de l'indice supérieures à 5.

3° Le coefficient d'utilisation dépend du pouvoir réflecteur des murs et du plafond. Voici quelques valeurs des pourcentages de lumière réfléchi par des surfaces de différentes couleurs :

blanc, 67 à 80 p. 100;

jaune, 44 à 59 p. 100;

brun, 27 à 41 p. 100;

vert clair, 43 à 67 p. 100;

bleu clair, 37 à 55 p. 100;

gris, 15 à 57 p. 100.

CHAPITRE VIII

DE QUELQUES ECLAIRAGES SPECIAUX

Nous étudierons l'éclairage des écoles; celui des salles d'opérations, des bateaux de guerre et des extérieurs sera esquissé. Nous terminerons par un tableau donnant des indications sur les éclairagements des locaux industriels et domestiques.

A. — *Eclairage des écoles.*

Javal et Truc se sont particulièrement occupés de l'éclairage des écoles; l'éclairément insuffisant des classes est la cause principale du développement de la myopie progressive.

Il ne faut pas de coins sombres dans une école, il importe que les rayons partis de la voûte lumineuse arrivent abondamment à la place la moins favorisée. D'après Javal, à cette place, on doit pouvoir apercevoir le ciel dans une étendue verticale de 30 centimètres comptée à partir du bord supérieur de la fenêtre. Pour que l'angle d'inclinaison soit au moins de 35 degrés, nous avons vu que la largeur de la pièce ne doit pas dépasser une fois et demie la hauteur du bord supérieur au-dessus du plancher. Cette mesure a été adoptée par le ministère de l'Instruction publique sur la proposition de Trélat. Il est recommandé de hausser le linteau

jusqu'au niveau du plafond et de réduire les trumeaux jusqu'à n'avoir plus que des piliers. La surface des fenêtres doit être égale au moins à la moitié ou au tiers de la surface du parquet. Il ne faut pas que le bord inférieur de la fenêtre soit à plus de 2 mètres au-dessus du sol, ou alors il faut éloigner les tables du mur pour garder l'angle d'inclinaison aux environs de 33 à 43 degrés.

Trélat et Javal ont préconisé l'éclairage unilatéral gauche. Pour obtenir une lumière diffuse, il est préférable de n'ouvrir des fenêtres que du côté nord; il faut placer les bancs perpendiculairement au mur occupé par les baies, les élèves face à l'est; ils recevront le jour de haut en bas et de gauche à droite, ce qui est la disposition la meilleure pour que l'ombre de la main et de la plume soit éloignée du papier. Cet éclairage n'est utilisable que pour des salles peu larges; il offre quelques inconvénients au point de vue de l'hygiène, car la façade de l'école reçoit le rayonnement solaire pendant un temps minimum.

Pour des salles plus larges, il faut un éclairage bilatéral. Il faut modifier l'axe de l'école, il doit être nord-sud; on tempérera par des rideaux transparents l'éclat du soleil du matin et du soir. Ce système présente l'avantage de donner un meilleur éclairage le matin et le soir, ce qui est utile les jours d'hiver.

Les enfants regarderont vers le nord; en cas de besoin, on pourra ouvrir une fenêtre sur le côté nord. En général, on emploie l'éclairage bilatéral équivalent, mais on peut établir un éclairage différentiel; dans ce cas, l'éclairage gauche doit être prédominant. Les murs doivent être de teinte claire et les plafonds blancs. Le vitrage sera en verre clair; on n'autorisera le verre dépoli que si la surface des fenêtres dépasse le tiers de la surface du plancher.

Il faut réserver autour de l'école un espace libre égal au double de la hauteur des plus grandes constructions en usage dans la contrée. Il ne faut pas planter d'arbres trop près des fenêtres.

Truc recommande un éclairage minimum de 15 lux et demande à ce qu'on puisse lire les caractères ordinaires à 30 centimètres. C'est un minimum; nous avons vu que les conditions optima étaient réalisées quand on pouvait reconnaître les détails à 1 m. 20; il serait logique que les conditions recommandées pour les adultes soient obligatoires pour les enfants. L'éclairage optimum est de 80 lux. L'éclairage artificiel doit donner la même valeur, et il doit être établi selon les règles précédemment décrites.

L'éclairage est un facteur important dans le développement de la myopie progressive, il n'est pas seul coupable; il faut que les fournitures scolaires soient imprimées avec des caractères suffisamment gros (n° 11 au moins).

B. — *Eclairage des salles d'opération.*

Pour obtenir un bon éclairage du champ opératoire, il faut réaliser trois conditions : avoir un éclairage suffisant, avoir une lumière qui déforme le moins possible les couleurs et supprimer les ombres. On recommande un éclairage de 750 lux au minimum, et les lampes « jour » donnent une lumière qui se rapproche le plus de la lumière blanche.

La troisième condition nécessite l'emploi d'appareils spéciaux. Zeiss utilisait, avant la guerre, trois miroirs situés aux angles d'un triangle équilatéral; ils renvoyaient la lumière d'une lampe d'arc sur trois lentilles et les trois faisceaux obtenus venaient converger sur le champ opératoire.

Dufour et Vérin ont imaginé le dispositif suivant, auquel ils ont donné le nom de scialitique. Il comprend essentiellement une optique cylindrique à échelons de Fresnel, analogues aux systèmes employés dans les phares. Au foyer se trouve une source lumineuse de petite surface et de grand éclat. Après réfraction, les rayons lumineux se trouvent condensés en une nappe rayonnante, comprise entre deux plans sensiblement parallèles. Un jeu de 50 miroirs plans

disposés autour de l'optique forme un tronc de pyramide régulière dont la surface interne renvoie les rayons sur le champ opératoire. La tache lumineuse obtenue est uniforme et, si l'on vient à interposer un corps opaque, l'ombre que ce corps produit dans le faisceau réfléchi par l'une des glaces se trouve sensiblement neutralisée par l'éclairage que donnent les autres faisceaux restés intacts.

L'appareil peut être orienté dans toutes les directions et sa disposition est telle que le chirurgien et ses aides ne peuvent être gênés par la vision directe de la source lumineuse.

L'appareil Holophane constitue un véritable plafond lumineux; il comprend, en général, des appareils fixés au plafond, devant se trouvent des plaques carrées formant lentilles à échelons. Les faisceaux lumineux viennent converger sur la table d'opération.

Le Docteur Sénéchal étudie l'éclairage au néon (procédé Claude Lumière); la combinaison des radiations du mercure et du néon produit un éclairement sensiblement blanc.

On recommande un éclairement entre 1.000 et 2.000 lux; il y aurait intérêt à utiliser des champs de couleur foncée.

C. — *Eclairage des bateaux de guerre.*

L'éclairage des bateaux de guerre est nécessaire, car l'éclairement naturel existe à peine dans les batteries, et en tout cas ne répond pas aux données hygiéniques. Le médecin principal de la marine Laurent a établi un tableau d'après ses recherches à bord du cuirassé *Jean-Bart* et d'après les règles proposées par la Marine anglaise.

D. — *Eclairage des extérieurs.*

Nous n'insisterons pas sur l'éclairage des extérieurs. On a tendance actuellement à utiliser des réflecteurs dissymétriques : leur courbe photométrique est allongée dans une

direction déterminée, et la plage lumineuse obtenue possède un grand éclairement : sa grandeur varie avec la hauteur de l'appareil.

Ce qu'on cherche à obtenir, c'est la notion du contraste : on abandonne l'éclairage axial, qui assurait l'uniformité de l'éclairement; en effet, on voit les objets par rapport à un fond : une voiture arrivant devant vous passe sous une source lumineuse; en arrière de la source, elle se détache en clair sur fond sombre; en avant, elle apparaît en sombre sur fond clair; à un moment donné, elle a été invisible; l'éclairage horizontal est important, mais il faut assurer un éclairage vertical suffisant.

Les sources actuellement employées sont les lampes à vapeur de sodium; elles éclairent la route de Paris à Versailles. Les appareils sont disposés en quinconce; leur hauteur est de 8 mètres et leur distance de 60 mètres. Une lettre E, faisant 40 centimètres sur 40 centimètres, imprimée en noir sur fond blanc, fut visible à 500 mètres.

Eclairage général des appartements	30 lux.
Eclairage général des vestibules, escaliers	45 lux.
Eclairage général des bureaux	50 lux.
Eclairage de la cuisine.....	60 lux.
Eclairage de table de salle à manger.....	60 lux.
Eclairage de tables de bureau et dactylographie.....	80 lux.
Eclairage de lingerie	80 lux.
Eclairage de salle de dessin industriel	120 lux.
Eclairage de laboratoire	120 lux.
Eclairage des travaux de couture sur étoffes claires...	120 lux.
Eclairage des travaux de couture sur étoffes foncées..	300 lux.
Eclairage de table d'opération	750 lux.

BATEAUX DE GUERRE.

	CATÉGORIE D'ÉCLAIREMENT				
	10 lux	20 lux	30 lux	40 lux	50 lux
Emplacements types.	Magasins.	Servomo- teur.	Machines.	Carrés.	Atelier.
	Cursives.	Barre à bras.	Dynamo.	Bureaux.	Armurerie.
	Bastingages.	Chaudières.	Tube sous- marin.	Salles de lecture.	Charpen- tage.
	Poulaines.	Bouilleurs.	Tourelle.		Postes cen- traux.
	Superstruc- ture.	Grues.	T. S. F.		
	Descente des escaliers.	Batteries.	Cuisine. Infirmerie. Chambres.		

CONCLUSIONS

I. — Du point de vue général, l'action de la lumière se fait sentir sur tous les êtres animés. L'homme subit son influence, mais l'énergie lumineuse est un excitant qu'il faut manier avec prudence.

II. — Du point de vue de l'hygiène de l'œil, il faut exiger un éclairage suffisant pour permettre la reconnaissance des détails à une distance double ou quadruple de celle du travail. La lumière blanche donne le meilleur pouvoir séparateur, c'est elle qui doit être employée.

Il faut éviter l'éblouissement provoqué par la présence d'une trop grande brillance dans le champ visuel.

Il faut condamner l'éclairage insuffisant, cause de la myopie progressive et facteur adjuvant du nystagmus des mineurs.

III. — L'éclairage doit être suffisant, constant, uniforme, inoffensif, économique. La valeur minima doit être de 20 lux.

IV. — La source lumineuse qui permet l'éclairage le plus rationnel est la lampe électrique.

V. — Pour assurer un éclairage diurne suffisant, la largeur de la rue doit être égale ou supérieure à une fois et demie la hauteur des constructions riveraines. La surface des fenêtres doit représenter le sixième de la surface du plancher.

VI. — L'éclairage artificiel indirect est le meilleur : les appareils mixtes permettent un éclairage rationnel plus économique. La valeur optima de l'éclairement des tables de bureau est de 80 lux.

VU, POUR LE DOYEN :

L'Assesseur,

J. GUYOT.

VU, BON A IMPRIMER :

Le Président,

E. LEURET.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Bordeaux, le 7 décembre 1933.

Le Recteur de l'Académie,

A. TERRACHER.

BIBLIOGRAPHIE

- AIMARD et DAUSSET. — L'ultra-violet, la lumière solaire et artificielle, l'infrarouge. *Expansion scientifique française*, Paris, 1933.
- ANGELUCCI. — Physiologie générale de l'œil. *Encyclopédie française d'ophtalmologie*, t. II, p. 106 et s.
- BARGERON. — De l'optimum d'éclairement pour un travail déterminé. *Annales d'hygiène*, 1923.
- BAUDRIMONT. — Influence de la lumière et de ses radiations sur les êtres vivants. Son application au traitement des plaies. Thèse Bordeaux, 1910.
- BAYLISS. — The physiological action of light. *The Lancet*, London, 1922.
- BERT. — Influence de la lumière sur les êtres vivants. *Revue scientifique*, 1878.
- BINET. — L'excitant lumineux. *Presse médicale*, 1924.
- BIRNBAUM. — Sur un cas de nystagmus non professionnel, rappelant le nystagmus des houilleurs. *Annales d'oculistique*, 1923.
- BROCA. — Quelques considérations théoriques à propos des études d'hygiène oculaire faites au laboratoire central d'électricité. *Annales d'oculistique*, 1914.
- BROCA et LAPORTE. — Etude des principales sources de lumière au point de vue de l'hygiène. *Bull. de la Soc. internat. des électriciens*, juin 1908.
- BOUCHARDAT. — La lumière et son action sur l'œil. *Revue scientifique*, 1879.
- CASSIEN. — Accidents produits sur l'appareil de la vision à bord des navires de guerre. Thèse Bordeaux, 1894.
- CARLE FLUGGE. — Grundriss der Hygien. Berlin, 1927.

- CHARPENTIER. — Le sens de la lumière et le sens des couleurs. *Arch. d'ophtalmologie*, 1881.
- CHEVALLEREAU. — Hygiène oculaire. *Encyclopédie française d'ophtalmologie*, t. IX, 1910.
- COURMONT et ROCHAIX. — Précis d'hygiène.
- DRANSARD. — Nystagmus chez les mineurs. *Annales d'oculistique*, 1877.
- DUBOIS. — Sur la lumière physiologique. *C. R. de la Soc. de biol.*, Paris, 1918.
- DUBREULH. — Précis de dermatologie. Doin, 1909.
- DUFESTEL. — Ultra-violets et chaleur radiante. Legrand, 1928.
- DUFOUR. — La myopie scolaire. Congrès international d'hygiène scolaire, Paris, 1910.
- DUFOUR (M.). — La question d'éclairage en ophtalmologie. *Annales d'oculistique*, 1919.
- DEJARRIC DE LA RIVIÈRE. — Nosokomeion, janv. 1933. Air et lumière dans les hôpitaux.
- FERREE and RAND. — Lighting and hygien of the eye. *Archiv of ophtalmology*, London, 1929.
- FOUGERAT DE DAVID DE LASTOURS. — L'homme et la lumière. Thèse Paris, 1925.
- GARIEL. — Valeur comparative des divers modes d'éclairage. *Annales d'oculistique*, 1910.
- GIGON. — Effets biologiques de la lumière. *Klin. Wochenschr.*, t. IX, 1930.
- GINESTOUS. — L'éclairage des locaux scolaires à Bordeaux. *Journ. de méd. de Bordeaux*, 1920.
- GOUGEROT. — Pellagre et érythème pellagroïde. *Bull. de la Soc. de dermat.*, 1931 et 1932.
- Défense et immunisation par la peau. *Journ. des praticiens*, 1932-1933.
- GRAPCEW. — De l'influence de l'éclairage latéral sur la vision centrale des myopes et des hypermétropes. *Revue d'ophtalmologie*, 1928.
- HAZERMAN. — La santé et la lumière naturelle dans l'habitation. *Annales d'hygiène*, 1930.

- HAUS. — Considérations physiologiques sur l'éclairage artificiel. *Annales d'oculistique*, 1928.
- HORNICKE. — Effets de la lumière sur les personnes bien portantes. *Arch. d'électr. méd. de Bordeaux*, 1929.
- HUME. — The effect of radiations with the mercury vapour quartz lamp. *The Lancet*, London, 1922.
- JAUSION et PAGÈS. — Les maladies de lumière et leur traitement. Masson, 1933.
- JAVAL. — Les maladies de l'œil. *Revue scientifique*, 1879.
— L'éclairage public et privé. *Ibid.*
— Les livres et la myopie. *Ibid.*
— Sur le mécanisme de la myopie progressive. *Annales d'oculistique*, 1879.
- KLEITMAN et PIERCE. — L'étude de la phase d'établissement de la sensation lumineuse par excitation élective des cônes et des bâtonnets. *C. R. de la Soc. de biol.*, juill. 1924.
- LAURENT. — Eclairage à bord des bâtiments de guerre. *Arch. de méd. et de pharm. navales*, 1927.
- LEBLANC. — Les conditions à remplir dans l'éclairage des établissements industriels et commerciaux. Commission internationale de l'éclairage, session 1925.
- LE CORBUSIER. — Urbanisme. Grès, 1925.
- LEMIÈRE. — Action biologique de la lumière. *Journ. des sciences méd. de Lille*, 1908.
- LEMOINE et VINCENT. — Cours élémentaire de physique, classe de mathématiques élémentaires Belin, 1925.
- LEPRINCE. — Hygiène, prophylaxie et traitement de la myopie scolaire. Congrès international d'hygiène scolaire, Paris, 1940.
- LOHMANN. — Eblouissement subjectif, physique et physiologique de l'œil. *Annales d'oculistique*, 1921.
- LOSSOÛARN. — Des verres colorés. Thèse Bordeaux, 1909.
- MALVOZ. — Nystagmus des houleux. *Revue d'hygiène*, 1909.
- MARTIN et BROUARDEL. — Traité d'hygiène. Fasc. XXII, Baillière, 1929.

- MIRAMOND DE LAROUELLE. — Action des bains de lumière naturelle et artificielle. *Arch. d'électr. méd. de Bordeaux*, 1912.
- OHM. — Contribution à la connaissance du nystagmus des mineurs. *Annales d'oculistique*, 1921.
- PARINAUD. — La vision, étude physiologique. Doin, 1898.
- PECH. — Les radiations en biologie; éclairage pratique et radiations. *Presse médicale*, 1924 (annexes).
- PROMPT. — De l'hygiène scolaire de la vue. *Revue d'hygiène*, 1913.
- Pratique médico-chirurgicale* : Eclairage de l'habitation, t. IV. Masson, 1931.
- REY. — La lumière du soleil dans l'habitation. III^e Congrès international de technique sanitaire, organisé au Palais de la Foire internationale de Lyon, juin 1932.
- RIZZOLO. — Influence des successions d'obscurité et d'éclairement sur la chronaxie du point moteur du clignement. *C. R. de la Soc. de biol.*, 1928.
- ROLLIER. — L'école et la lumière. *Liège médical*, 1933.
- Société pour le perfectionnement de l'éclairage* :
- Lumière et vision.
 - Réflecteurs et diffuseurs.
 - Unités et mesures photométriques.
 - Projets d'éclairage.
 - L'éclairage des ateliers.
 - L'éclairage des intérieurs.
 - L'éclairage des bureaux et des écoles.
 - L'éclairage des voies publiques.
- SOURDILLE. — Accidents oculaires produits par l'électricité. *Gaz. méd. de Nantes*, 1906.
- TRÉLAT. — Aménagement de l'atmosphère et de la lumière dans l'habitation. *Revue d'hygiène*, 1904.
- TERRIER. — Troubles visuels provoqués par l'électricité. *Presse médicale*, 1912.
- TRUC. — Moyens d'éviter les troubles visuels à l'école. *Montpellier médical*, 1912.
- Eclairage des écoles. Congrès international d'hygiène scolaire, Paris, 1910.

VALBREUZE (DE). — Principes et applications de l'éclairage. Soc. pour le perfectionn. de l'éclairage, 1929.

— Quelques remarques sur l'éclairage. *Bull. de la Soc. franç. des électr.*, 1932.

VIGNAL. — Les rayons ultra-violets et infrarouges. Doin, 1930.

WETZEL. — Etablissement d'un projet d'éclairage électrique. *Revue générale d'électricité*, 1923.

